

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Ocepek, M., 2013. Navigacijski sistemi. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Stopar, B.): 60 str.

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Ocepek, M., 2013. Navigacijski sistemi. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Stopar, B.): 60 pp.

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
**gradbeništvo in
geodezijo**

Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si



**VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJ
GEODEZIJE
SMER GEODEZIJA V
INŽENIRSTVU**

Kandidat:

MARJAN OCEPEK

NAVIGACIJSKI SISTEMI

Diplomska naloga št.: 398/GI

NAVIGATION SYSTEMS

Graduation thesis No.: 398/GI

Mentor:

prof. dr. Bojan Stopar

Predsednik komisije:

prof. dr. Bojan Stopar

Član komisije:

izr. prof. dr. Maruška Šubic-Kovač

doc. dr. Mojca Kosmatin Fras

Ljubljana, 26. 11. 2013

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisani **MARJAN OCEPEK** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
»NAVIGACIJSKI SISTEMI«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 15.11.2013

Marjan Ocepek

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN POVZETEK

UDK:	528.28:659.2:91(043.2)
Avtor:	Marjan Ocepek
Mentor:	prof. dr. Bojan Stopar
Naslov:	Navigacijski sistemi
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – visokošolski strokovni študij
Obseg in oprema:	60 str., 14 pregl., 18 sl.
Ključne besede:	sistemi za določanje položaja, GNSS-sistemi, SBAS-sistemi, psevdoliti, TPS-sistemi, INS-sistemi, radarski-sistemi, mobilna komunikacijska omrežja

Povzetek

V diplomski nalogi smo predstavili nekatere navigacijske sisteme, ki se lahko uporabljajo tudi v geodeziji. Na začetku naloge je predstavljena karta kot podlaga navigacije. Sledi poglavje o navigaciji s pomočjo nebesnih teles. Seznanimo se z osnovnimi pojmi navigacije in orientacije, podrobneje opišemo nekaj primitivnih metod, ki so se uporabljale za orientacijo brez kompasa. Opišemo dve napravi za merjenje časa, ki sta izboljšali postopek določitve položaja, kronometer in kronograf, ter tipična navigacijska inštrumenta, kompas in sekstant. Sledi najobsežnejši del, opisi navigacijskih sistemov, ki vključujejo GNSS-sisteme, SBAS-sisteme, psevdolite, TPS-sisteme, INS-sisteme, radarske sisteme in mobilna komunikacijska omrežja. Sistemi so predstavljeni v podobni obliki opisa, ki vsebuje zgradbo, delovanje, natančnost in uporabnost.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 528.28:659.2:91(043.2)
Author: Marjan Ocepek
Supervisor: Prof. Bojan Stopar, Ph.D.
Title: Navigation systems
Document type: Graduation Thesis – Higher professional studies
Notes: 60 p., 14 tab., 18 fig.
Key words: positioning systems, GNSS-systems, SBAS-systems, pseudolites, TPS-systems, INS-systems, radar-systems, mobile communications networks

Abstract

In this thesis we present different navigation systems which may be used also in surveying. Map as a basis of navigation is described at the beginning. Next, we focus on navigation based on celestial bodies. We present basic terms such as navigation and orientation and describe some primitive methods, which had been used for orientation without compass. We present two important time keeping instruments that facilitated the process of position determination, the chronometer and chronograph, and introduce two typical navigation instruments, compass and a sextant. The major part of the thesis is dedicated to descriptions of navigation systems which include the GNSS-systems, SBAS-systems, pseudolites, TPS-systems, INS-systems, radar systems and mobile communications networks. Systems are presented in a similar form, containing the structure, operation, accuracy and utility.

ZAHVALA

Za vso strokovno pomoč, nasvete in usmerjanja pri izdelavi diplomske naloge, se iskreno zahvaljujem mentorju prof. dr. Bojanu Stoparju.

Iskreno se zahvaljujem tudi moji družini, ki so mi ob vseh teh letih šolanja stali ob strani in me podpirali. Prav tako se za vso pomoč pri lektoriranju zahvaljujem Marku Prši, ter za oblikovno in jezikovno pravilnost svojemu dekletu v podjetju US-EUM – ja tebi Mišiii.

Hvala vsem!

KAZALO VSEBINE

IZJAVE.....	III
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN POVZETEK.....	IV
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT.....	V
ZAHVALA.....	VI
1 UVOD.....	1
2 KARTA KOT OSNOVA NAVIGACIJE	2
3 TRADICIONALNI POSTOPKI NAVIGACIJE	4
3.1 Splošno o navigaciji.....	4
3.2 Klasične metode navigacije.....	5
3.3 Primitivne metode (orientacije).....	5
3.4 Osnove merjenja časa	6
3.5 Navigacija s pomočjo kompasa in karte.....	9
3.5.1 Kompas	9
3.6 Sekstant	10
3.6.1 Delovanje sekstanta	11
4 SODOBNE METODE NAVIGACIJE	14
4.1 Osnovna dejstva elektromagnetnega (EM) valovanja.....	14
4.2 GNSS sistemi.....	14
4.2.1 GPS	16
4.2.2 GLONASS	16
4.2.3 GALILEO.....	17
4.2.4 COMPASS	17
4.2.5 Delovanje GNSS-sistemov	18
4.2.6 Uporabnost GNSS-sistemov.....	19
4.2.7 Natančnost GNSS-sistemov	19

4.3 Podporni navigacijski satelitski sistemi SBAS	20
4.3.1 Delovanje SBAS-sistemov	21
4.3.2 WAAS	22
4.3.3 EGNOS	23
4.3.4 MSAS	24
4.3.5 GAGAN	25
4.3.6 SDCM	25
4.3.7 Natančnost SBAS-sistemov	26
4.3.8 Uporaba SBAS-sistemov	26
4.4 Pseudolit	27
4.4.1 Zgradba Locate	29
4.4.2 Delovanje Locate	31
4.4.3 Kombinacija Locate in Leice t.i. JPS-sistem	32
4.4.4 Natančnost Locate	33
4.4.5 Uporaba pseudolitov	34
4.5 TPS-sistemi	34
4.5.1 Zgradba TPS-sistema	36
4.5.2 Delovanje APT- in AIT-sistema	37
4.5.3 Natančnost TPS-sistema	39
4.5.4 Uporabnost TPS-sistema	40
4.6 Inercialni sistemi	40
4.6.1 Zgradba INS-sistema	41
4.6.2 Delovanje INS-sistema	44
4.6.3 Natančnost INS-sistema	46
4.6.4 Uporabnost INS-sistema	47
4.7 Radijsko (radarski) sistemi	48
4.7.1 Zgradba radarja	48
4.7.2 Delovanje radarja	49
4.7.3 Natančnost radarja	52
4.7.4 Uporaba radarja	52

4.8 Mobilna komunikacijska omrežja	52
4.8.1 Mobilna navigacija	53
4.8.1.1 Zgradba mobilnega omrežja	54
4.8.1.2 Delovanje mobilne navigacije	55
4.8.1.3 Natančnost mobilne navigacije	56
4.8.2 Notranji položajni sistemi (IPS)	57
4.8.2.1 Zgradba IPS-sistema	58
4.8.2.2 Natančnost IPS-sistema	59
4.8.3 Uporabnost telekomunikacijskih sistemov	59
5.0 ZAKLJUČEK	60
VIRI	61

KAZALO SLIK

Slika 1: Kronometer iz leta 1830.....	7
Slika 2: Kronograf iz leta 1890.....	8
Slika 3: Uporaba kompasa in karte na terenu.....	9
Slika 4: Kompas	10
Slika 5: Sekstant.....	11
Slika 6: Primer z indeksnim pogreškom sekstanta.....	12
Slika 7: Prikaz območij, ki jih pokrivajo posamezni SBAS-sistemi.....	21
Slika 8: Shema delovanja PL.....	30
Slika 9: Prikaz delovanja psevdolitov z GNSS.....	32
Slika 10: Samostojni način delovanja psevdolita.....	32
Slika 11: Prikaz TPS-sistema Leica TS 30.....	36
Slika 12: Izmera z TPS-sistemom proizvajalca Sokkia.....	38
Slika 13: Prikaz kardanskega inercialnega sistema.....	43
Slika 14: Inercialna merilna enota – pritrjen sistem proizvajalca IMAR.....	44
Slika 15: Prikaz transformacije koordinatnih sistemov.....	46
Slika 16: Shema delovanja radarja.....	49
Slika 17: Prikaz SSR in PSR anteni, uporabljen predvsem v letalstvu.....	51
Slika 18: Shematski prikaz celic mobilnega omrežja.....	55

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Vrednosti pogreška višine opazovanja.....	12
Preglednica 2: Glavne značilnosti GNSS-sistemov.....	15
Preglednica 3::Natančnost absolutnega in relativnega položaja pri GNSS-sistemih.....	20
Preglednica 4: Natančnost EGNOS-sistema.....	26
Preglednica 5: Natančnost EGNOS-sistema po ESSP podatkih	26
Preglednica 6: Natančnost Locate.....	33
Preglednica 7: Tehnične specifikacije različnih proizvajalcev TPS-sistemov.....	39
Preglednica 8: Natančnost TPS-sistema.....	39
Preglednica 9: Horizontalna natančnost INS-sistema.....	46
Preglednica 10: Razpon delovanja frekvenc v RADAR-skem sistemu.....	50
Preglednica 11: Horizontalna in vertikalna natančnost radarja.....	52
Preglednica 12: Horizontalna natančnost z GNSS-modulom.....	56
Preglednica 13: Horizontalna natančnost z ostalimi metodami.....	56
Preglednica 14: Natančnost nekaterih IPS-sistemov.....	59

1 UVOD

V diplomski nalogi predstavljamo nekaj tehnologij za določanje položaja. Pri tem smo poskušali posamezne sisteme opisati na podoben način.

Diplomska naloga je sestavljena iz dveh delov. V prvem delu predstavimo zgodovinska dejstva, nekaj osnovnih pojmov, kot sta navigacija in orientacija, in opišemo najbolj tipične inštrumente, kompas in sekstant. Drugi del, ki je najobsežnejši, pa obsega t. i. sodobne metode navigacije. Slednje obsega šest poglavij in sicer GNSS-sisteme, psevdolite, TPS-sisteme, inercialne sisteme, radarje in mobilna komunikacijska omrežja.

Vsak posamezni sistem je predstavljen s podobno obliko opisa. Sistemi so opisani po naslednjem načelu; zgradba, osnovni sistem delovanja, dosegljiva natančnost položaja in uporaba. Ponekod smo podali še kratek zgodovinski pregled razvoja in razne podsisteme. Tako smo poskušali narediti celovit, pregleden, razumljiv opis posameznega sistema.

Sodobne metode, ki so predstavljene, temeljijo izključno na tehnologiji elektromagnetnega (EM) valovanja. Na neki način so si opisani sistemi zato podobni, tehnološke realizacije pa so različne. Sistemi so uporabni v številne namene, kar je posledica same zasnove in realizacije posameznega sistema. Dejstvo je, da je prvi sistem, ki je bil razvit in namenjen izključno v vojaške namene, radar. Je začetnik tehnologije, na osnovi katere je potekal razvoj drugih tehnologij, ki jim je skupno, da so namenjene določitvi položaja.

2 KARTA KOT OSNOVA NAVIGACIJE

Ljudje so se že od nekdaj ukvarjali z upodobitvijo zemeljskega površja in predvsem z značilnostmi dela območja zemeljskega površja. Prve primitivne upodobitve zemeljskega površja so nastajale na tleh, na zemlji in v pesku z uporabo najrazličnejših materialov, kot so les, kamen, skala (klesanje), vrv ipd. Te upodobitve so imele časovno omejitve, saj so se hitro bodisi zaradi vremenskih vplivov bodisi drugih razlogov zbrisale, uničile ali spremenile prvotno podobo. Tako so začeli upodabljati na trdnjše, trajnejše materiale, kot so živalska koža, jamske stene in glinene ali kamnite plošče. Vsi ti začetki upodabljanja so začetki razvoja kartografije (Cartography, 2013). Danes je karta ključna komponenta tako za orientacijo kot za navigacijo.

Karta je abstraktna simbolizirana slika geografskih resničnosti, ki prikazuje izbrane objekte ali lastnosti in je rezultat ustvarjalnega dela avtorja. Namenjena je uporabi, kjer so bistveni prostorski odnosi. Karta je torej slika, ki jo gleda človek – uporabnik. Glavne značilnosti kart so (Petrovič, 2000):

- **pomanjšan prikaz v merilu;**
- **deformiran prikaz** – zaradi prehoda z realne površine Zemlje na matematično opisljivo pogojno ploskev, nato pa z matematično določenimi zakonitostmi (projekcija) na ravno ploskev;
- **posplošen prikaz** – poudarjanje bistvenih in opuščanje nepomembnih značilnosti zemljišča, kar dosežemo s postopki kartografske generalizacije;
- **pojasnjen prikaz** – posamezni objekti in pojavi so na karti prikazani s kartografskimi znaki.

Pomembno vlogo ima sama vsebina karte, ki prikazuje sam namen izdelane karte, odvisna pa je od merila, območja karte in velikosti nosilca. Po vsebini delimo karte na (Petrovič, 2000):

- splošne geografske karte:
 - topografske karte (v velikih merilih do 1:200.000);
 - pregledne topografske karte (v srednjih merilih od 1:200.000 do 1:1.000 000);
 - geografske karte (v majhnih merilih nad 1:1.000 000);
- tematske karte.

Splošne geografske karte se uporabljajo za različne namene npr. učni pripomoček, uporaba v državnih organih in občinskih službah, do prostorskega načrtovanja tako na državni kot lokalni ravni. Poznamo veliko različnih tematskih kart za najrazličnejše namene uporabe kot npr. morske karte, planinske karte, specifične karte za orientacijo, letalske karte itd. (Petrovič, 2000).

S časom je karta postala neomejena z medijem na katerem je izdelana. Do informacijske tehnologije so prednjačile karte, natisnjene na različne vrste papirja, t. i. **analogne karte**. Proces izdelave karte je zahteven in dolgotrajen, saj se v celoti nariše in opiše ročno. Slabosti so predvsem, da je vsako napako kartografa težko popraviti. S staranjem papirja, na katerem je karta natisnjena, pa se karta bodisi krči bodisi razteguje (Černogoj, 2005).

Z razvojem računalništva se način izdelave in medij zapisa karte zelo spremenita, pojavi se t. i. **digitalna karta**. Sam proces izdelave je hitrejši, vsebino se preprosto dopolnjuje, spreminja, briše. Dodajo se lahko zvok, slike, tako pridobimo multimedijsko – večpredstavnostno karto, ki uporabnikom podaja množico dodatnih informacij. Digitalne karte so postale ključne komponente pri vseh projektih, aplikacijah, nalogah ipd., ki jim je vsem skupno prikazovanje izbranega terena in najrazličnejše lokacijske storitve, temelječe na določevanju položaja (Černogoj, 2005).

3 TRADICIONALNI POSTOPKI NAVIGACIJE

3.1 Splošno o navigaciji

Navigacija je znanost in veščina, s katero se na podlagi določitve trenutnega položaja določi pot do cilja z različnimi postopki, tehnikami in sistemi. Pri tem so pomembni znani položaji točk na Zemlji, določeni z visoko stopnjo natančnosti koordinat. Slednje omogoča nadaljne določevanje položaja in poti do – cilja, z različnimi metodami navigacije (Navigation, 2013).

Pri navigaciji je pomemben pojem orientiranje, ki je podrobneje opisan v naslednjem poglavju. Vsekakor je bila navigacija spretnost, veščina, ki se jo je bilo treba priučiti in izvajati z občutkom. Potrebno je bilo znanje matematike, logike in fizike, pa tudi astronomije, kartografije, geografije ...

Danes pa po zaslugi različnih tehnologij uporabnik preprosto vnese zelen cilj in pridobi zeleno pot do končnega cilja. Še več, po zaslugi npr. pametnih telefonov pridobimo poleg možnosti navigacije še mnogo drugih uporabnih informacij, ki so lahko tržna (Navigation, 2013).

Navigacija je bila in je še vedno ključna komponenta tako pri transportu kot pri logistiki za načrtovanje poti in še številnih drugih možnostih npr. za številne civilne namene. Ti so tako rekoč množično dostopni, saj je po zaslugi številnih proizvajalcev cena sistemov krepko padla v primerjavi z njihovimi začetki (Navigation, 2013).

Navigacija je postala nekaj samoumevnega in na razpolago je veliko različnih tehnologij, ki so podrobneje predstavljene v nadaljevanju te diplomske naloge.

3.2 Klasične metode navigacije

Vse od začetka obstoja se je moral človek za preživetje še kako znajti v naravnem okolju, ki je vse prej kot prizanesljivo. Izuriti so se morali za lov in posledično je imel zelo razvito spretnost za orientiranje v prostoru, saj je bilo to eno izmed glavnih znanj za njegovo preživetje in razvoj. S prehrabnega vidika so se ljudje začeli tudi bolj oddaljevati od svojih bivališč, začela so se priseljevanje iz enega kraja v drugega, odkrivanje novih pokrajin, ustvarjanje novih naselbin, osvajanje celin itd. Navsezadnje so potekali tudi razni spori, obračunavanja, vojne. Ob teh dejstvih lahko razumemo pomen orientacije v prostoru (Map orientation, 2013).

Beseda orientacija izhaja iz latinske besede *orient*, ki pomeni smer (stran) neba, kjer vzhaja Sonce – vzhod. Orientacija ni enolično definirana, poznamo več razlag tega pojma, ki so odvisne od posameznih avtorjev. Na splošno je orientacija sposobnost, da se od trenutka zapustitve še znanega kraja najdemo v neznanem okolju, kjer smo se prvič, s pomočjo različnih veščin (opisane v primitivnih metodah), orientirali do vrnitve na kraj izhodišča (Map orientation, 2013).

Pojem orientacije zajema dva dela:

- **geografska orientacija** – obsega pravilno določanje glavnih strani – smeri neba;
- **topografska orientacija** – obsega določevanje identičnih karakteristik točk tako na karti kot v naravi in pravilno odločanje za nadaljnjo pot.

3.3 Primitivne metode (orientacije)

Opisani načini služijo zgolj za grobo orientacijo v okolju – naravi, da približno vemo, v kateri smeri so določeni pojavi – objekti. Je osnova, ki se jo otroci učijo že v osnovnih šolah, pri tabornikih, skavtih itn., pozna jo vsak izmed nas.

1. Orientacija po Soncu

Sonce zjutraj vzhaja na vzhodni strani neba, zvečer zahaja na zahodni. Ko poznamo dve strani neba, je preprosto določiti še preostali dve (sever, jug), (Jakelj, 2000).

2. Orientacija po zvezdah

Najlažje se orientiramo po zvezdi Severnici, ki jo najdemo v ozvezdju Malega voza. To velja za severno poloblo, na južni se po Severnici ne moremo orientirati, ker je ni nad obzorjem. Orientiramo se z Južnim križem (angl. Crux), ki je najmanjše ozvezdje na nebu. S tema dvema zvezdama (Severnica in Južni križ) se preprosto orientiramo na Zemlji in iz njiju določimo preostale strani neba (Jakelj, 2000).

3. Orientacija po sencah predmetov

S pomočjo palice, ki jo zapičimo v vodoravna tla, zarišemo krog okoli palice, ki je malo manjši od dolžine palice. Senca se proti poldnevu vedno bolj krajša in ko doseže svojo najkrajšo dolžino, je lokalni poldan. Od poldneva naprej se dolžina palice daljša (Jakelj, 2000).

4. Orientacija po naravnih znamenjih

Orientiramo se po različnih karakteristikah terena, po rekah, dolinah, gorah, gozdovih, cerkvenih zvonovih, po skalah itd. (Jakelj, 2000).

5. Orientacija po Soncu s pomočjo analogne ure

Ta način je preprost in zanesljiv, saj potrebujemo samo analogno uro (ura s kazalci). Uro držimo vodoravno tako, da mali urni kazalec usmerimo proti Soncu. Na poltraku, ki razpolavlja kot med urnim kazalcem in oznako 12, je smer proti jugu (Jakelj, 2000).

6. Drugi načini

Letnice dreves so gostejše na severni strani, drevesa rastejo počasneje na severnih kot na južnih pobočjih, mah raste na severni strani dreves, skal, razvalin, severne stene zgradb so včasih vlažne, nekatere cvetlice, npr. sončnica, so obrnjene proti soncu itn. (Jakelj, 2000).

3.4 Osnove merjenja časa

Čas je dimenzija, ki se venomer spreminja. Že pred našim štetjem so različna ljudstva merila čas z različnimi merilnimi pripomočki. Najbolj tipični sta tako sončna in peščena ura (Time, 2013).

Za navigacijo s pomočjo nebesnih teles je prelomen pojav t. i. **kronometera**. Na podlagi časa plovbe in podatka o krajevnem času so lahko preprosto določili geografsko dolžino (več v poglavju 3.6.1). Besedo kronometer je

leta 1714 prvič omenil Jeremy Thacker. Kronomer je natančna ura, ki jo je na začetku poganjal izključno mehanski mehanizem (Marine chronometer, 2013).

Prvi kronometri so bili spravljeni v lesene škatle. Znano je, da so mornarji zelo pazili na kronometer, saj je bila načrtana plovba odvisna od vmesnega določevanja položaja (Marine chronometer, 2013).



Slika 1: Kronometer iz leta 1830

(vir: <http://www.artvalue.com/auctionresult--breguet-switzerland-a-two-day-boxed-marine-chronom-2875262.htm>)

Švicarski inštitut za kronometer COSC (fr. *Contrôle Officiel Suisse des Chronomètres*) izdaja certifikate, s katerim potrjujejo natančnost in točnost ur v Švici. Natančnost predstavlja mero medsebojne skladnosti ponovljenih opazovanj iste količine, npr., ko v določenem časovnem obdobju vsakodnevno merimo čas ob določeni uri. Točnost pa predstavlja stopnjo skladnosti opazovanj in prave vrednosti istih količin. V tem primeru opazovanja predstavljajo v določenem časovnem obdobju vsakodnevne meritve časa ob določeni uri, prave vrednosti časa ob določeni uri pa nikoli ne poznamo, ampak se prizadevamo, da se pravi vrednosti v največji meri približamo. Ure so izdelane po ISO (angl. *International Standardisation Organization*) in DIN (nem. *Deutsches Institut für Normung*) standardih (COSC, 2013).

Leta 1816 je Louis Moinet izumil **kronograf**, ki poleg ure vsebuje še štoparico. Tako je poleg časa omogočeno še merjenje pretečenega časa za različne namene uporabe (Chronograph, 2013).



Slika 2: Kronograf iz leta 1890 (vir: <http://en.wikipedia.org/wiki/Chronograph>)

Ura je lahko zgrajena iz (Clock, 2013):

- **mehanskega mehanizma** – sestavljen je iz velikega števila mehanskih delov, izdelava je zahtevna;
- **kvarčnega mehanizma** – sestavljen je iz elektronskega vezja, sama izdelava je preprostejša zaradi majhnosti mehanizma, ugodne cene in natančnosti časa, zaradi naštetih dejstev je uporaba kvarčnega mehanizma pogostejša od mehanskega mehanizma.

Čas je ključni podatek za delovanje vseh družb, zato je treba imeti usklajen čas na mednarodni ravni. Najbolj tipična sistema sta (Time, 2013):

- **GMT-sistem** (angl. Greenwich Mean Time) – je časovni standard, ki so ga sprejeli na konferenci v Washingtonu leta 1884 in takrat določili, da se kot trenutno veljaven čas postavi v angleškem kraju Greenwich (tu se čas meri v kraljevem observatoriju), skozi katerega poteka ničelni poldnevnik (čas je korigiran na 0). GMT je osnovno izhodišče vseh časovnih pasov na Zemlji;
- **UTC-sistem** (angl. Universal Time Coordinated) – je novejši časovni standard, ki je bil ustanovljen in je v uporabi od leta 1963. Sistem UTC temelji na merjenju časa z atomskimi urami (najnatančnejše ure) pod okriljem mednarodne agencije za atomski čas IAT (angl. International Atomic Time). Sistema GMT in UTC se razlikujeta v časovnem obdobju 50 let za približno sekundo.

Obstaja 24 časovnih pasov. Vzhodno in zahodno od ničelnega poldnevnikar je na vsako stran razdeljenih po 12 časovnih pasov. Na vzhodni strani se na vsakih 15° geografske dolžine prišteva ena ura, proti zahodu pa se na vsakih 15° geografske dolžine ena ura odšteva (Časovni pas, 2013).

3.5 Navigacija s pomočjo kompasa in karte

Predhodno omenjene metode so različni načini orientacije v naravi. Za navigacijo pa potrebujemo še primerno karto/zemljevid, čemur pravimo tudi »klasični« način, novodobne tehnike navigacije vključujejo npr. sisteme GNSS in elektronsko karto.

Na terenu se orientiramo s kompasom, ki ga imamo položenega na karti. S kompasom določimo geografski sever in istočasno karto usmerimo v tej smeri. Tako imamo izpolnjen prvi pogoj, orientacija proti severu. Nato pogledamo okolico terena, da se znajdemo na karti, poiščemo identične objekte, pojave na karti in v naravi. Sledi nadaljnja navigacija, s katero določimo smer naše poti do končnega cilja. Seveda je treba upoštevati še značilnosti terena, kot sta prehodnost in varnost (Compass, 2013).



Slika 3: Uporaba kompasa in karte na terenu

(vir: <http://www.nationalparks.gov.uk/press/press-images/press-images-tags.htm?tags=landscape>)

3.5.1 Kompas

Kompas je naprava, s katero določamo strani neba (sever, jug, vzhod, zahod). Legenda govori, da je kompas iznašel kitajski cesar Kvang Ti leta 2634 pr. n. št. Kitajci mu pravijo »*ting nan čing*«, kar naj bi pomenilo voz, ki kaže na jug. Od Kitajcev so kompas prevzeli Arabci, ki so mu dali ime *busola*, nato pa so ga v Evropo prinesli Italijani v 13. stoletju. Kompas je postal najbolj razširjen pripomoček za orientiranje (Compass, 2013).

Osnovni sestavni deli kompasa so igla in limb (številčnica) ter včasih tudi ogledalo z merilno muho. Magnetna igla se v odsotnosti drugih zunanjih vplivov poravnava v smeri zemeljskih magnetnih silnic proti magnetnemu severu. Tako nam igla kaže referenčno smer, ki služi za navigacijo. Z uporabo limba lahko določamo osnovne strani neba in magnetni azimut, kar nam skupaj z geografsko karto omogoča orientacijo in določanje približnega položaja (Compass, 2013).



Slika 4: Kompas (vir: <http://www.orozje.net/shop/scripts/prodView.asp?IdProduct=1050>)

V osnovi poznamo v navigaciji tri različne smeri severa (Magnetic pole, Geographical pole, 2013):

- **magnetni sever** – je sever, ki ga določa igla kompasa, ki je usmerjena proti magnetnemu polu (južni magnetni pol je na severni polobli, medtem ko je severni magnetni pol na južni polobli), od smeri geografskega severa pa se magnetni sever razlikuje za velikost kota t. i. magnetne deviacije;
- **geografski sever** – predstavlja namišljeno točko, v katero je vpeta Zemljina os (geografski severni tečaj je najsevernejša točka na Zemlji z zemljepisno širino $+90^\circ$);
- **projekcijski sever** – nakazujejo ga navpične linije (ki so v pokončni valjni – Merkatorjevi projekciji) in pravokotne geografske mreže na topografski karti.

V geodeziji uporabljamo še precej drugih terminov, povezanih z lego zemljinih polov.

3.6 Sekstant

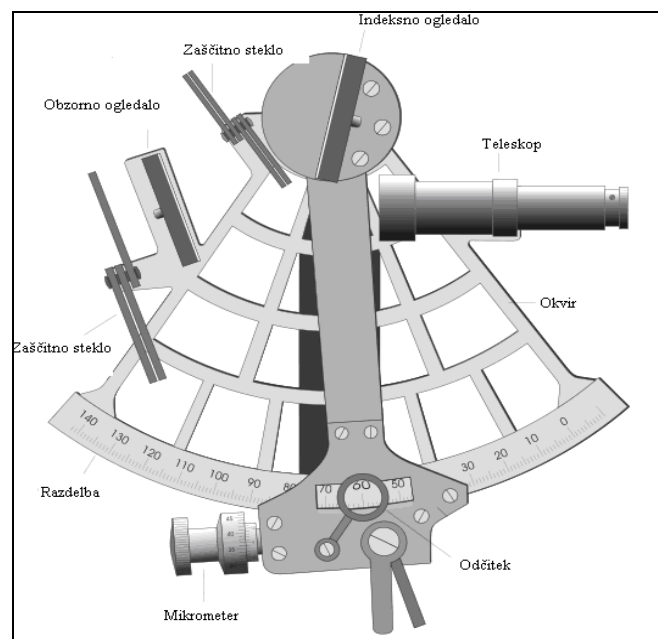
Sekstant je inštrument, ki je v osnovi namenjen določitvi položaja pri navigaciji na morju, na podlagi opazovanj nebesnih teles (največkrat Sonca in Lune). Sekstant je inštrument, ki se uporablja za merjenje kotnih vrednosti med dvema nebesnima telesoma ter za merjenje kotnega premera Sonca in Lune. Seveda se sekstant danes ne

uporablja več toliko kot včasih, ko je bil edini način določanja položaja, ga pa kljub temu še vedno najdemo na ladjah, ob morebitnem nedelovanju drugih naprav npr. radarja in GNSS-sistema (Sextant, 2013).

Sestavljen je iz teleskopa, razdelbe, okvirja, indeksnega ogledala, obzornega ogledala, zaščitnega stekla, mikrometra in razdelbe za odčitek kota. Ime izhaja iz latinske besede za eno šestino ($1/6$)-*sextans*. Izumila sta ga Anglež John Hadley in Američan Thomas Godfrey leta 1731. Izum kronometra je poenostavil navigacijo s pomočjo sekstanta, zaradi preproste določitve trenutnega krajevnega časa. (Sextant manual, 2013).

3.6.1 Delovanje sekstanta

Najprej poskrbimo za zaščito oči, tako da ustrezno naravnamo zaščitno steklo, ki je nameščeno na sekstant, v smeri opazovanja. V iztegnjeni desni roki držimo sekstant v višini oči, tako da lahko gledamo v teleskop, naviziramo v višino obzorja (gladina morja), tako da v obzornem ogledalu vidimo obzorje, nato z levo roko dvigamo vizuro z drsnim delom sekstanta do višine nebesnega telesa. Dvigamo ali spuščamo jo toliko časa, da sta obzorno in indeksno zrcalo v isti liniji. Sledi še odčitavanje vrednosti kota z mikrometrom (Sextant, 2013).



Slika 5: Sekstant (vir: <http://www.af.wikipedia.org/wiki/L%C3%AAer:Sekstant.png>)

Pogreški sekstanta so naslednji (Sextant manual, 2013).

- **Indeksni pogrešek** – pri vsaki uporabi sekstanta je treba preveriti, s kakšno napako/pogreškom merimo kote. Pogrešek nastane zaradi nepravokotnosti dveh ogledal na okvir sekstanta. Ogledali morata biti v smeri opazovanja med seboj vzporedni, če nista, je to indeksni pogrešek, ki ga določimo glede na zamik dveh ogledal na samo obzorje. Spodaj sta dve sliki, leva prikazuje nevzporednost ogledal na opazovano smer horizonta, posledično to pomeni indeksni pogrešek, desna slika pa predstavlja vzporedno ogledalo, brez pogreška.



Slika 6: Primer z indeksnim pogreškom (leva slika) sekstanta in brez (desna slika),

(vir: http://www.davisnet.com/product_documents/marine/manuals/00026-710_IM_00025.pdf)

- **Pogrešek višine opazovanja** – vrednost izmerjenega kota, ki ga pridobimo, je vezana na višino očesa opazovalca. Horizont, na katerega je vezan opazovani kot, je treba premakniti na horizont gladine morja. Vrednosti pogreškov višine opazovanja glede na višino opazovalca so prikazane v spodnji preglednici.

Preglednica 1: Vrednosti pogreška višine opazovanja

višina očesa opazovalca	pogrešek
1.5m	2'
3.0m	3'
4.5m	4'
7.5m	5'
12.0m	6'

- **Pogrešek polmera** (navidezne ploskve nebesnega telesa) – vezan je na opazovanje Sonca in Lune, odčitnemu kotu višine je treba prišteti pogrešek polmera, ki znaša 16'.
- **Deklinacijska odstopanja** – deklinacija je posledica kroženja in spreminjanja položaja Sonca glede na druge planete. S tem se kot oz. kotna razdalja Sonca od ekvatorja Zemlje skozi celotno leto spreminja. Najvišjo vrednost doseže ob poletnem solsticiju na severni polobli, na južni polobli pa ob zimskem

solsticiju in znaša $23,5^\circ$. Na severni polobli se deklinacija prišteva, na južni polobli pa odšteva.
(Deklinacija, 2013).

Za pridobitev geografske dolžine potrebujemo podatek o lokalnem – krajevnem času. Podatek o krajevnem času pridobimo s kronometrom. Ta podatek uporabimo za določitev geografske dolžine.

Pri določanju geografske širine pa upoštevamo kot, ki smo ga izmerili ob 12. uri, takrat, ko je sonce najvišje. Odčitnemu kotu najprej odštejemo indeksni pogrešek in pogrešek višine opazovanja, nato prištejemo pogrešek polmera. V tem koraku pridobimo najverjetnejšo vrednost kota med opazovalcem in merjenim nebesnim telesom, popravljeno za vse pogreške, ki jo nato uporabimo za določitev geografske širine.

4 SODOBNE METODE NAVIGACIJE

4.1 Osnovna dejstva elektromagnetnega (EM) valovanja

Začetnik teorije EM-valovanja je škotski fizik in matematik James Clerk Maxwell. Med letoma 1867-1873 je odkril zakone elektrodinamike (Maxwellove zakone) in jih zapisal v elektrodinamičnih enačbah. Teorijo je objavil leta 1873 v razpravi o elektriki in magnetizmu. Te enačbe predstavljajo osnovne zakone elektrodinamike, ki povezujejo električno in magnetno polje v elektromagnetno polje ter opisujejo njegove časovne spremembe in širjenje v prostoru. Maxwell je prvi pokazal, da je svetloba pravzaprav elektromagnetno valovanje, ki se širi s hitrostjo cca. 300.000 km/s. Po njem se imenuje merska enota za magnetni pretok Maxwell (M), (Maxwell, 2013).

Vsi opisani sistemi v nadaljevanju temeljijo na EM-valovanju. Pri vseh se pojavi naprava, imenovana oddajnik, ki odda EM-valovanje. Oddano valovanje, ki se odbije od določenega objekta, pojava, snovi, nato sprejme naprava, imenovana sprejemnik (Mautz R. 2012).

4.2 GNSS sistemi

Globalni navigacijski satelitski sistemi GNSS (angl. Global Navigation Satellite Systems) je oznaka za satelitske navigacijske sisteme, ki so v uporabi za določevanje položaja in časa poljubne točke na Zemlji. GNSS-sistemi so (Satellite navigation, 2013):

- **GPS** (angl. Global Positioning System) – sistem v lasti ZDA;
- **GLONASS** (angl. GLObal NAVigation Satellite System) – sistem v lasti federacije Rusije;
- **GALILEO** (imenovano po Galileo Galilei-u) – sistem v lasti Evrope;
- **COMPASS ali BEIDOU** – sistem v lasti Kitajske.

Najbolj razširjen sistem je GPS, ki je v lasti Združenih držav Amerike, ki ga dnevno uporablja več 100 milijonov uporabnikov. Razvit je bil za izključno vojaško uporabo, pozneje je prišel tudi v civilno uporabo. Rusija je razvila sistem GLONASS, ki je bil tudi primarno razvit v vojaške namene. Evropski sistem GALILEO bi moral že biti v uporabi in delovanju, vendar se je vzpostavitev zaustavila pri finančnih sredstvih. Je pa to eden izmed najobsežnejših projektov, kadar koli izvajani v EU. Že samo lansiranje satelitov v orbito bo stalo za več kot 2

milijardi eurov. Po večkratnem prestavljanju začetka delovanja tega sistema naj bi, po podatkih iz leta 2011, dokončno deloval in bil v uporabi leta 2019. V razvojni fazi je tudi kitajski GNSS, imenovan COMPASS – BEIDOU. V primerjavi z drugimi GNSS-sistemi ima COMPASS poleg satelitov, ki so utirjeni v tirnico na višini cca. 20.000 km, še geostacionarne satelite, ki se uporabljajo tudi za opazovanje vremena iz vesolja. Ti sateliti so geostacionarni sateliti, ki so na višini pribl. 36.000 km nad ekvatorjem. Njihova kotna hitrost potovanja okrog Zemlje je enaka kotni hitrosti vrtenja Zemlje (Navipedia, 2013).

Delovanje omenjenih sistemov je precej podobno med seboj. Razlike so naslednje; število satelitov, višina in obhodni čas satelitov, število orbitalnih ravnin, inklinacija proti ekvatorju, različen tip multipleksiranja signala (to je način, kako se več podatkov zapiše na eno nosilno elektromagnetno valovanje) in število frekvenc nosilnega valovanja (Navipedia, 2013).

Preglednica 2: Glavne značilnosti GNSS-sistemov

GNSS-sistemi	GPS	GLONASS	GALILEO	COMPASS
Št.satelitov	31	30	30	30+5
Višina satelitov	20200km	19100km	23222km	21150km
Generacije satelitov	Block 1	Glonass	GIOVE-A	Beidou 1(A,B,C,D)
	Block 2	Glonass-M	GIOVE-B	Beidou 2(M1,G2,G1
	Block 2A	Glonass-K1	GIOVE-A2	G3,IGS01,G4,IGS02
	Block 2R	Glonass-K2	GIOVE-A/B	IGS03,IGSO4)
		Glonass-KM		
Obhodni čas	11ur 58min	11ur 15min	14ur 6min	12ur 36min
Št.ravnin	6	3	3	6
Inklinacija	55°	64.8°	56°	55.5°
Multipleksiranje signala	CDMA	FDMA/CDMA	CDMA	CDMA
Št.frekvenc	2	15	3	4
Oznaka in moč frekvenc	L1=1575.42 MHz	L1=1601.72 MHz	E1=1575.42 MHz	B1=1575.42 MHz
	L2=1227.60 MHz	L2=1245.78 MHz	E5=1191.80 MHz	B2=1207.14 MHz
	L5=1176.45 MHz	L3=1201.00 MHz	E6=1278.75 MHz	B3=1268.52 MHz

4.2.1 GPS

GPS je zgrajen iz sledečih segmentov (GPS, 2013):

- kontrolni segment:
 - 1 glavna kontrolna postaja MCS (angl. Master Control Station);
 - 16 kontrolnih postaj MS (angl. Monitor Stations);
 - 4 zemeljske antene (angl. Ground Antennas), nameščene na nekaterih kontrolnih postajah MS;
- vesoljski segment:
 - 31 satelitov;
- uporabniški segment:
 - predstavlja ustrezen sprejemnik, ki je odvisen od namena uporabe.

GPS poleg na osnovnih frekvencah L1 ($f_{L1}=1575.42$ MHz) in L2 ($f_{L2}=1227.60$ MHz) oddaja signal tudi na dodatni novi civilni frekvenci L5 ($f_{L5}=1176.45$ MHz). V uporabi pa sta tudi dve novi vsebini signala na obstoječih frekvencah in sicer L1C in L2C. Odvisno od sprejemnika, le-ta lahko sprejema tudi signale na frekvencah drugih GNSS-sistemov. GPS-sistem je izmed naštetih sistemov največ v uporabi, bodisi v civilne ali geodetske namene (GPS, 2013).

4.2.2 GLONASS

GLONASS je zgrajen iz sledečih segmentov (GLONASS, 2013):

- kontrolni segment:
 - 1 glavna kontrolna postaja;
 - 5 telemetričnih nadzornih postaj TTC (angl. Telemetry Tracking and Control station);
 - 3 povezovalne postaje (angl. Upload Stations);
- vesoljski segment:
 - 30 satelitov;
- uporabniški segment:
 - predstavlja ustrezen sprejemnik, ki je odvisen od namena uporabe.

GLONASS deluje na svojih treh frekvencah in sicer na L1 ($f_{L1}=1601.72$ MHz), L2 ($f_{L2}=1245.78$ MHz) in L3 ($f_{L3}=1201.00$ MHz). Odvisno od sprejemnika, le-ta lahko sprejema tudi signale na frekvencah drugih

GNSS-sistemov. GLONASS-sistem se v zadnjih letih več uporablja, tako v civilne kot v geodetske namene. Praktično vsi novejši proizvajalci GNSS sprejemnikov zagotavljajo sprejem GLONASS-signala (GLONASS, 2013).

4.2.3 GALILEO

GALILEO je zgrajen iz sledečih segmentov (GALILEO, 2013):

- kontrolni segment:
 - 1 glavni kontrolni sistem GCS (angl. Galileo Control System);
 - 1 kontrolni sistem GMS (angl. Galileo Mission System);
 - 5 telemetričnih nadzornih postaj TTC (angl. Telemetry Tracking and Control station);
 - 5 povezovalnih postaj ULS (angl. Up-Link Stations);
- vesoljski segment:
 - 30 satelitov;
- uporabniški segment:
 - predstavlja ustrezen sprejemnik, ki je odvisen od namena uporabe.

GALILEO deluje na svojih treh frekvencah in sicer na E1 ($f_{E1}=1575.42$ MHz), E5 ($f_{E5}=1191.80$ MHz) in E6 ($f_{E6}=1278.75$ MHz). Odvisno od sprejemnika, le-ta lahko sprejema tudi signale na frekvencah drugih GNSS-sistemov. GALILEO-sistem še ni v splošni uporabi, po nekaterih informacijah naj bi bile prve storitve sistema GALILEO dostopne ob koncu leta 2014 (GALILEO, 2013).

4.2.4 COMPASS

COMPASS je zgrajen iz sledečih segmentov (COMPASS, 2013):

- kontrolni segment:
 - 1 glavna kontrolna postaja MSC (angl. Master Control Station);
 - 30 kontrolnih postaj MS (angl. Monitor Stations);
 - 2 povezovalni postaji (angl. Upload Stations);
- vesoljski segment:
 - 30 + 5 satelitov;

- uporabniški segment:
 - predstavlja ustrezen sprejemnik, ki je odvisen od namena uporabe.

COMPASS deluje na svojih treh frekvencah in sicer na B1 ($f_{B1}=1575.42$ MHz), B2 ($f_{B2}=1207.14$ MHz) in B3 ($f_{B3}=1268.52$ MHz). Prav tako, kot pri predhodnih treh sistemih tudi tu sprejemnik, lahko sprejema signale na frekvencah drugih GNSS-sistemov. COMPASS-sistem je v omejenem obsegu začel delovati ob koncu leta 2011, in sicer samo na območju Kitajske in bližnje okolice (COMPASS, 2013).

4.2.5 Delovanje GNSS-sistemov

V osnovi lahko določitev položaja delimo na dva načina, ki sta pri vseh GNSS-sistemih podobna:

- **navigacija v realnem času** – metode absolutne določitve položaja na osnovi kodnih opazovanj;
- **precizno pozicioniranje** – metode relativne določitve položaja na podlagi faznih opazovanj.

Navigacija v realnem času temelji na določitvi absolutnega položaja na osnovi kodnih opazovanj, ki je določen samo na osnovi danih položajev GNSS-satelitov v izbranem koordinatnem sistemu v času opazovanj in opazovanih razdalj med satelitom in sprejemnikom. Nadgradnja te metode so t. i. SBAS-sistemi (poglavje 4.3), pri njej pa se natančnost položaja uporabnika izboljša po zaslugi naknadne obdelave v realnem času s t. i. diferencialnimi popravki kodnih opazovanj.

Pri t. i. preciznem pozicioniranju pa se relativni položaj uporabnika določi na podlagi faznih opazovanj. Relativni položaj pomeni, da je določen relativno na že znani položaj ene ali več točk, saj le-to omogoča doseganje natančnosti položaja, ki je primerna za v uporabo v geodeziji. Glede na to, ali sprejemnik miruje ali se premika, poznamo statične in kinematične metode. Po drugi delitvi pa poznamo še t. i. RTK- (angl. Real Time Kinematic) in diferencialno GPS-metodo, ki omogočata skoraj v realnem času določitve položaja na podlagi izračunanih in sprejetih popravljenih popravkov. Ti popravki se pošljejo prek referenčne postaje bodisi tudi virtualne referenčne postaje VRS, ki omogoča omrežje SIGNAL (velja za Slovenijo).

Na sama GNSS-opazovanja pa vplivajo tri skupine vplivov (Stopar in drugi, 2006):

- **z izvorom v satelitih** – vključuje pogreške ur in tirnic satelitov;

- **z izvorom v sprejemniku** – vključuje pogrešek ure sprejemnika, odboj signala oz. multipath, spreminjanje položaja faznega centra antene in šum sprejemnika;
- **z izvorom v mediju** – vključuje ionsfersko in troposfersko refrakcijo.

4.2.6 Uporabnost GNSS-sistemov

GNSS-sistemi se lahko uporabljajo v številne namene, najbolj tipične pa so:

- za navigacijo:
 - v cestnem prometu;
 - v letalstvu;
 - v kmetijstvu;
 - v lokacijsko podprtih storitvah;
 - v pomorstvu;
- za precizno pozicioniranje:
 - v inženirski geodeziji;
 - v zemljiškem katastru;
 - v katastru stavb;
 - v topografskih izmerah;
 - v strojništvu;
 - v rudarstvu;
 - v gradbeništvu – npr. usmerjanje strojev;
 - v geologiji;
 - v kmetijstvu;

Poleg naštetih možnosti uporabe, pa je možno GNSS-sistem uporabljati še v mnoge druge namene.

4.2.7 Natančnost GNSS-sistemov

Natančnost določitve položaja na osnovi GNSS-sistemov je predvsem odvisna od trenutne geometrijske razporeditve »vidnih« satelitov in od kakovosti opravljenih opazovanj. Odvisna pa je tudi od kakovosti sprejemnika in metode določitve položaja (Stopar in drugi, 2006).

Prikazana natančnost absolutnega in relativnega položaja pri GNSS-sistemih je podana z standardnim odklonom.

Preglednica 3: Natančnost absolutnega in relativnega položaja pri GNSS-sistemih

	Hz-natančnost	V-natančnost
Absolutni položaj	10 m in več	20 m in več
Relativni položaj	okoli mm in več	okoli mm in več

Podane natančnosti predstavljajo okvirno dosegljivo natančnost.

4.3 Podporni navigacijski satelitski sistemi SBAS

Kratica SBAS (angl. Satellite Based Augmentation Systems) predstavlja skupino regionalnih navigacijskih satelitskih sistemov, imenovanih tudi razširjeni – podporni navigacijski satelitski sistemi. SBAS-sistemi so vzpostavljeni izključno za navigacijske namene. Bistvo teh sistemov je, da uporabniku prek geostacionarnih ali geosinhronih satelitov posredujejo diferencialne popravke kodnih opazovanj. Diferencialni popravki vsebujejo pogreške urinega teka satelitove ure, pogreške tirnic satelitov in parametre ionosferske in troposferske refrakcije. Na ta način uporabnik bistveno izboljša natančnost položaja glede na položaj, določen le v okviru GNSS-sistemov (SBAS systems, 2013).

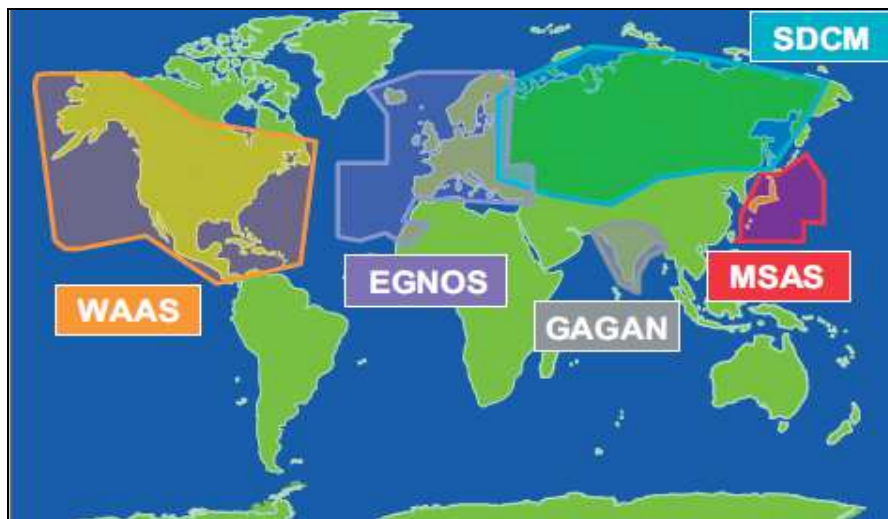
Glavna razlika med SBAS- in GNSS-sistemi je posredovanje diferencialnih popravkov opazovanj s satelitov, ki »pokrivajo« določen del zemeljskega površja. Ti satelitski sistemi vključujejo tako geostacionarne kot geosinhronne tirnice, ki so na višini približno 36.000 km nad ekvatorjem. Bistvena razlika med geosinhronimi tirnicami v primerjavi z geostacionarnimi tirnicami je v večji inklinaciji, ki znaša tudi več kot 70°. Vrednost inklinacije predstavlja nagnjenost ravnine tirnice proti ravnini ekvatorja. Večja vrednost inklinacije pomeni, da je vpliv multiphata manjši, posledično je tudi dostopnost signala boljša in prav to sta največji prednosti geosinhronih tirnic pred geostacionarnimi tirnicami. Primer uporabe geostacionarnih tirnic je npr. evropski EGNOS, primer uporabe geosinhronih tirnic pa japonski QZSS (angl. Quasi Zenith Satellite System) in indijski IRNSS (angl. Indian Regional Navigational Satellite System).

Glavni namen razvoja sistemov SBAS, je bila zagotovitev neodvisne možnosti navigacije in za varno pristajanje letal v slabih vremenskih razmerah.. Prihod SBAS-sistemov v letalstvo je posledično poenostavil celotno navigacijo in pristajalne sisteme v civilnem letalstvu. SBAS-sistemi so namenjeni tudi vsem drugim aktivnostim v okviru navigiranja (SBAS systems, 2013).

SBAS-sistemi so (SBAS systems, 2013):

- **WAAS** (angl. Wide Area Augmentation System) – sistem v lasti ZDA;
- **EGNOS** (angl. European Geostationary Navigation Overlay Service) – sistem v lasti Evrope;
- **MSAS** (angl. Multi – functional Satellite Augmentation System) – sistem v lasti Japonske;
- **GAGAN** (angl. Gps Aided Geo Augmented Navigation system) – sistem v lasti Indije;
- **SDCM** (angl. System for Differential Corrections and Monitoring) – sistem v lasti Rusije.

Sistemi so podobni med seboj tako v delovanju, vzrokih za razvoj kot namenu uporabe. Razlikujejo se pa po številu infrastrukturnih objektov (v sami zgradbi sistema) ter lokaciji in lastništvu sistema.



Slika 7: Prikaz območij, ki jih pokrivajo posamezni SBAS-sistemi

(vir: http://ec.europa.eu/enterprise/policies/satnav/egnos/files/edas-sdd_en.pdf)

4.3.1 Delovanje SBAS-sistemov

Glavne oz. referenčne postaje (imenovanje postaj je pri posameznih SBAS-sistemih različno) sprejemajo signale GNSS-satelitov. Surovi podatki opazovanj se nato pošiljajo naprej do kontrolnih in procesnih postaj, ki določajo:

- **pogreške urinega teka satelitove ure;**
- **pogreške tirnic satelitov;**
- **parametre ionosferske in troposferske refrakcije.**

Izračunani pogreški se nato oblikujejo v t. i. SBAS-sporočila, ki se prek povezovalnih postaj posredujejo do geostacionarnih satelitov, ta pa nato do samega uporabnika. Uporabnik ta sporočila nato uporabi kot popravke svojih opazovanj in s tem bistveno izboljša točnost določitve svojega položaja. Geostacionarni sateliti posredujejo SBAS-sporočila na eni (L1) frekvenci ($f_{L1}=1575.42\text{MHz}$), ki je identična kot v GPS-sistemu. Nekateri sistemi omogočajo tudi že oddajanje na frekvenci L5, nekateri pa naj bi to omogočali tudi v prihodnje.

Uporabnik s svojim sprejemnikom sprejema signale od GNSS-satelitov, tako kot običajno. Mogoče so tri poti dostopa do sporočil SBAS (EGNOS portal in European space agency, 2013).

- **Geostacionarni sateliti** – pogoj je, da sprejemnik omogoča sprejem SBAS-signala in vidnost dveh geostacionarnih satelitov. Ko je to izpolnjeno, uporabnik natančneje določi svoj položaj kot le z GNSS-sistemi.
- **SISNet** – je tehnologija, ki omogoča v realnem času dostop do podatkov SBAS prek interneta (brežžične povezave Wi-Fi, GSM ali GPRS). Bistvo je, da uporabnik ne potrebuje sprejemnika za sprejem SBAS-signala, zadošča sprejemnik GNSS ali mobilni aparat z ustrezno nameščenimi aplikacijami za navigacijo in ne potrebuje »vidnosti« geostacionarnih satelitov. Za nemoteno delovanje mora biti uporabnik registriran in uporabljati ustrezno SISNet-aplikacijo.
- **EDAS** – je najnovejša tehnologija, ki je nadgradnja SISNet. Omogoča neposreden dostop do surovih podatkov glavnih postaj, pošiljanje SBAS-sporočila prek radijsko podatkovnega sistema RDS (angl. Radio Data System) in digitalno oddajanje DAB (angl. Digital Audio Broadcast). Uporablja tudi standard RTCM SC 104 (angl. Radio Tehnical Comission for Maritime ServiCes), ki omogoča prenos sporočil EGNOS neposredno za storitve v pomorstvu (ladje, marine, svetilniki itd.). Za uporabo potrebujemo sprejemnik GNSS.

4.3.2 WAAS

WAAS je ameriški podporni geostacionarni satelitski sistem, ki so ga začeli razvijati leta 1992 v ameriški letalski zvezi FAA (angl. Federal Aviation Administration). V polni operativnosti je od leta 2003, pokriva celotne ZDA, Aljasko, Kanado in Mehiko (WAAS, 2013).

WAAS je zgrajen iz sledečih segmentov (WAAS, 2013):

- **kontrolni segment:**
 - 38 referenčnih postaj WRS (angl. Wide – area Reference Station);
 - 3 glavne postaje WMS (angl. WASS Master Station);
 - 6 povezovalnih postaj GUS (angl. Ground Uplink Station);
 - 2 operativna kontrolna centra OCC (angl. Operational Control Centers);
- **vesoljski segment:**
 - 5 geostacionarnih satelitov, operativni so trije, dva sta za raziskovanje možnih izboljšav;
- **uporabniški segment** - predstavlja sprejemnik, ki omogoča sprejem SBAS- in GNSS-signalov.

WAAS posreduje informacije na frekvenci L1 sistema GPS, v obdobju 2014-2028 pa naj bi začel delovati dvofrekvenčno, še na frekvenci L5 (WAAS, 2013).

4.3.3 EGNOS

EGNOS je evropski podporni geostacionarni satelitski sistem, razvit in v lasti Evrope. Kot že povedano, je eden glavnih razlogov za razvoj in realizacijo sistema, uporaba v letalstvu. Seveda je razlog tudi v lastnem sistemu, katerega lastnica je Evropa, tako da so neodvisni od trenutno še vedno prevladujočega GPS-sistema. V prihodnosti je predvideno skupno operativno delovanje sistemov GALILEO in EGNOS, ki bosta pripomogla še k večji kakovosti storitev za uporabnika. EGNOS poleg Evrope pokriva tudi severni del Afrike (Evropski satelitski servis ESSP, 2013).

EGNOS je zgrajen iz sledečih segmentov (Evropski satelitski servis ESSP, 2013):

- **kontrolni segment:**
 - 37 glavnih postaj RIMS (angl. Ranging Integrity Monitoring Stations);
 - 4 kontrolne in procesirne postaje MCC (angl. Mission Control Centres);
 - 6 povezovalnih postaj z dostopom do geostacionarnih satelitov NLES (angl. Navigation Land Earth Stations);
- **vesoljski segment:**
 - 3 geostacionarni sateliti;
- **uporabniški segment** – predstavlja sprejemnik, ki omogoča sprejem SBAS- in GNSS-signalov;

- **podporni segment:**
 - sistem, ki usklajuje operacije ter vzdržuje in spremlja delovanje PACF (angl. Performance Assessment and Check-out Facility);
 - sistem, ki zagotavlja podporo pri aplikacijah in uporabniškem vmesniku ASQF (angl. Application Specific Qualification Facility).

Vse štiri segmente povezuje EGNOS-ovo široko pasovno omrežje EWAN (angl. EGNOS Wide Area Network). Ta omogoča nemoteno posredovanje informacij o položaju uporabnika v skoraj realnem času. Sistem deluje na frekvenci L1 sistema GPS, v prihodnosti obstaja možnost na razširitev na dvofrekvenčno delovanje s frekvenco L5 (Evropski satelitski servis ESSP, 2013).

4.3.4 MSAS

MSAS je japonski podporni geostacionarni satelitski sistem v lasti in upravljanju Japonske. Sistem pokriva in operativno deluje na ozemlju Japonske. Zanimivost je, da uporablja dve kontrolni postaji, ki sta nameščeni v Avstraliji in na Havajih. Prvi testi so bili opravljeni za potrebe letalstva leta 2007 (MSAS, 2013).

MSAS je zgrajen iz sledečih segmentov (MSAS, 2013):

- **kontrolni segment:**
 - 4 referenčne postaje GMS (angl. Ground Monitor Station);
 - 2 glavni postaji MCS (angl. Master Control Station);
 - 2 nadzorni postaji MRS (angl. Monitor and Ranging Station);
- **vesoljski segment:**
 - 2 geostacionarna satelita;
- **uporabniški segment** – predstavlja sprejemnik, ki omogoča sprejem SBAS- in GNSS-signalov.

MSAS deluje na frekvenci L1 sistema GPS, v prihodnosti pa ga nameravajo razširiti še na frekvenco L5 (MSAS, 2013).

4.3.5 GAGAN

GAGAN je indijski podporni geostacionarni satelitski sistem, ki so ga začeli razvijati leta 2001 na pobudo indijske agencije za letalstvo in vesoljske raziskovalne organizacije. Pokriva celotno območje Indije (GAGAN, 2013).

GAGAN je zgrajen iz sledečih segmentov (GAGAN, 2013):

- **kontrolni segment:**
 - 8 referenčnih postaj INRES (angl. INdian REference Stations);
 - 1 glavna postaja INMCC (angl. INdian Master Control Center);
 - 1 povezovalna postaja INLUS (angl. INdian Land Uplink Station);
- **vesoljski segment:**
 - 3 geostacionarni sateliti;
- **uporabniški segment** – predstavlja sprejemnik, ki omogoča sprejem SBAS- in GNSS-signalov.

GAGAN deluje na frekvencah L1 in L5 sistema GPS. Je prvi SBAS-sistem, ki že deluje dvofrekvenčno (GAGAN, 2013).

4.3.6 SDCM

SDCM je ruski podporni geostacionarni satelitski sistem, ki pokriva Federacijo Rusije. Začetki sistema segajo v leto 2007 (SDCM, 2013).

SDCM je zgrajen iz sledečih segmentov (SDCM, 2013):

- **kontrolni segment:**
 - 19 referenčnih postaj;
 - 5 kontrolnih postaj;
 - 1 povezovalna postaja;
- **vesoljski segment:**
 - 3 geostacionarni sateliti;
- **uporabniški segment** – predstavlja sprejemnik, ki omogoča sprejem SBAS- in GNSS-signalov.

SDCM deluje samo na frekvenci L1 sistema GLONASS. Je še v začetnih fazah delovanja in še ni polno operativen (SDCM, 2013).

4.3.7 Natančnost SBAS-sistemov

SBAS sistemi naj bi zagotavljali natančnost položaja do 1 m. Tako je natančnost v primerjavi z uporabo navigacije s sistemi GNSS občutno boljša. Prikazana natančnost EGNOS-sistema je podana z standardnim odklonom in je naslednja (Evropski satelitski servis ESSP in EGNOS portal, 2013).

Preglednica 4: Natančnost EGNOS-sistema

Hz-natančnost	V-natančnost
1 m - 3 m	2 m - 4 m

Te podatke je treba jemati z rezervo, saj predstavljajo optimalno natančnost sistema EGNOS. Zanimivo pa je, da v vsakomesečnem poročilu, ki ga izda ESSP (angl. European Satellite Services Provider), za npr. mesec november 2012 navajajo podatke, ki so natančnejši od zgoraj omenjenih. V tabeli smo prikazali najvišjo in najnižjo natančnost določitve položaja, ki je podana z standardnim odklonom .

Preglednica 5: Natančnost EGNOS-sistema po ESSP podatkih

Hz-natančnost	V-natančnost
0.8 m - 1.6 m	1.1 m - 2.6 m

Podatki predstavljajo dejansko natančnost določitve položaja s pomočjo sistema EGNOS.

4.3.8 Uporaba SBAS-sistemov

Možnosti uporabe SBAS-sistemov je veliko za najrazličnejše namene uporabnikov, naj naštejemo segmente, v katerih se uporabljajo:

- v letalstvu;
- v cestnem prometu;
- v kmetijstvu;

- v lokacijsko podprtih storitvah;
- v pomorstvu.

Zaradi prenizke natančnosti se SBAS-sistemi ne uporabljajo v geodetske namene, se pa lahko uporabljajo za potrebe kartografije majhnih meril. Mogoča je tudi skupna uporaba SBAS-sistemov z drugimi sistemi.

4.4 Pseudolit

Pri GNSS-sistemih je cilj, da uporabnik pridobi svoj položaj. Za doseg tega cilja je potrebno zadostno število »vidnih« satelitov. Vidnost satelitov oz. dostopnost signala do sprejemnika je onemogočena v mestnih predelih (ulice z visokimi stavbami), v ozkih dolinah, na območjih z vegetacijo (parki, drevesa). Prav tako ni mogoč sprejem v zaprtih prostorih (stavbe) ali pod zemljo (predori, rudniki itn.). Ko odpovejo GNSS-sistemi v teh naštetih pogojih, lahko delujejo pseudoliti (Novaković in drugi, 2009).

Pseudoliti (oznaka PL) so bili razviti v poznih sedemdesetih letih, namenjeni pa so bili testiranju GPS na Zemlji še pred lansiranjem prvega satelita serije Block 1 leta 1978 v orbito. Testiranja so se izvajala v Arizoni, pod okriljem ameriške vojske (angl. Army Yuma Proving Ground), pri kateri so razvili mrežo štirih PL, ki so nadomeščali in simulirali satelite. Leta 1986 je radijska tehnična komisija za pomorski servis (RTCM) definirala PL, ki je lahko prejemal signale GPS, ter izračunal tako psevdorazdaljo (razdalja med PL in GPS-satelitom), kot popravek položaja (naknadni izračun, v katerem se upoštevajo vsi štirje pogreški PL) in te popravljene podatke o samem položaju PL, poslal do računalnika s hitrostjo 50 bitov na sekundo na frekvenci L1 (Novaković in drugi, 2009).

Pseudoliti nadomeščajo satelite v orbiti, ki se jih poljubno namesti na lokaciji na Zemlji v geometrijsko razporeditev, ki omogoča najbolj optimalno kakovost mreže in posledično visoko natančnost določitve položaja. Na začetku so PL omogočali sprejem in oddajo signala GPS na nosilnem valovanju L1 ($f_{L1}=1575.42$ MHz) in/ali L2 ($f_{L2}=1227.60$ MHz), na katerih je nanešena C/A koda. Določitev položaja je mogoča tako na kodni kot tudi fazni način (Novaković in drugi, 2009).

Razvoj tehnologije PL je v vzponu. Naj omenimo dva sistema in sicer, prvi novejši sistem Novariant in najnovejša Locata. Ta je popolna novost na tržiščih PL, podrobnejši opis sledi v naslednjem poglavju. Kot navajajo Novaković in drugi (2009), poznamo naslednje štiri pogreške PL.

- **Večpotje – multipath** – vpliv odboja signala oz. »multipath« je pri uporabi PL še večji problem kot pri GNSS-sistemih. Zlasti v zaprtih prostorih je število potencialnih površin, od katerih se lahko signal odbija, občutno večje (stropi, stene, odprtine, kot so vrata, okna). Mogoče so tri poti signala, direktni, indirektni (signal se na poti do sprejemnika enkrat odbije od ovire) in odbiti (signal se na poti do sprejemnika večkrat odbije od ovir) signal. Različne mogoče poti signala so problematične, saj z daljšo potjo signala pridobimo tudi daljšo psevdorazdaljo PL – sprejemnik in pogrešek je lahko tudi reda 5 cm ali več. Problematičen je tudi sprejem signala ob majhnem višinskem kotu, saj manjši ko je, večji pogrešek večpotja povzroča. Ko se izvaja statična izmera, je vpliv multipatha konstanten, pri kinematičnih meritvah (največ v uporabi) pa se vpliv multipatha zmanjša s primerno izbiro antene.
- **Blizu – daleč** – pri GNSS-sistemih je oddaljenost satelit – sprejemnik vedno skoraj enaka in moč sprejetega signala je ob primernih pogojih tako rekoč konstantna. Pri PL je pogrešek blizu – daleč problematičen zaradi spreminjanja oddaljenosti PL – sprejemnika in sprejemanja različnih moči signala PL. Moč sprejetega signala je obratno sorazmerna s kvadratom oddaljenosti PL – sprejemnik. Mogoča sta dva skrajna primera, prvi je t. i. »daleč problem«; zaradi prevelike oddaljenosti med PL in sprejemnikom je signal PL prešibak, da bi ga sprejemnik lahko zaznal. Drugi primer je t. i. »blizu problem«, ko je PL preblizu sprejemnika in je moč signala premočna za zaznavanje signala PL v sprejemniku.

Pogrešek blizu – daleč se da odstraniti z ustrezno zgradbo – konstrukcijo signala. Prvič, da se od PL-a oddaja z različno frekvenco, kot jo sprejema od GNSS-satelitov (FDMA – Frequency Division Multiple Access), drugič, da se od PL oddaja v kodah, ki so glede na kode GNSS-satelitov (CDMA – Code Division Multiple Access) različne, ali tretjič (največ v uporabi), da se signal ustrezno časovno pulzira z določenimi zakasnitvami (TDMA – Time Division Multiple Access). To pomeni, da posamezni PL v mreži v danem trenutku z določenimi časovnimi zakasnitvami oddajajo signale drug za drugim. Na ta način se preprečijo morebitne »nevšečnosti« pri obdelavi signalov zaradi preštevilnih istočasno oddanih in sprejetih signalov v danem trenutku.

- **Sihronizacija ure** – GNSS-sateliti so opremljeni z zelo natančnimi atomskimi urami, s katerimi je celotni sistem sinhroniziran, vključno s sprejemnikom. PL pa imajo vgrajene mnogo cenejše ure, ki uravnavajo t. i. temperaturno kompenziran kristalni oscilator (TCXO – Temperature Compensated Crystal Oscillators). Posledica tega je nesihronizacija časa PL med seboj in z GNSS-sateliti. Zaradi tega ni mogoča takojšnja določitev sprejemnikovega položaja (SPS – Single Point Position). Zato je treba vzpostaviti eno glavno referenčno postajo PL, ki sprejema vse signale od aktivnih PL in GNSS-satelitov

in na podlagi poslanih diferencialnih korekcij PL bodisi z DGPS ali RTK določi položaj sprejemnika. Z vzpostavitvijo glavne referenčne postaje PL se zagotovi sinhronizacija celotnega sistema PL, saj ima nalogo, da usklajuje čas med PL in GPS-sateliti.

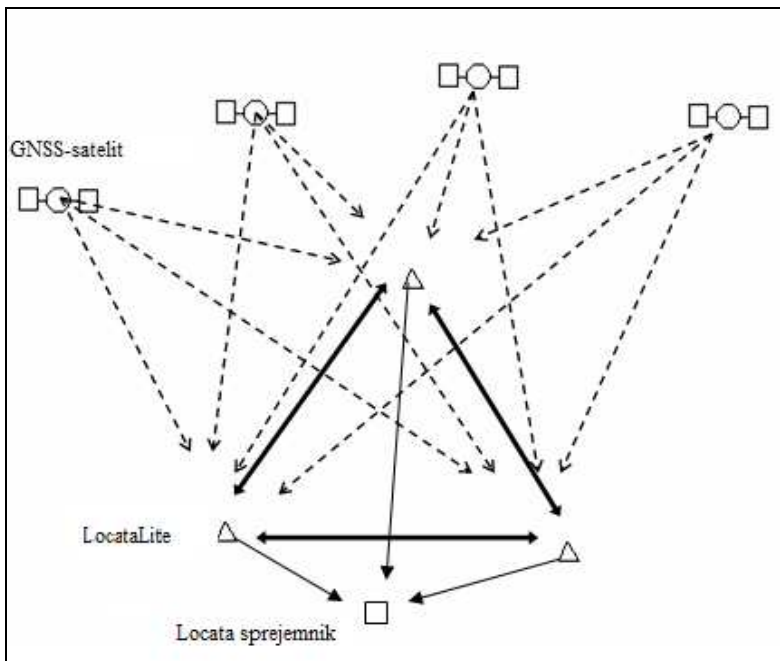
- **Atmosferska popravka:**

- Ionosferska refrakcija – vpliv ionizirane atmosfere na valovanje, ki vpliva na valovanje v odvisnosti od frekvence valovanja. Vpliv ionosfere se izraža v prehitevanju faze in z zakasnitvijo kode. To pomeni, da je psevdorazdalja na osnovi kode daljša in psevdorazdalja na osnovi faze krajša od prave geometrijske razdalje. Odpravi se jo lahko na dva načina, z uporabo dvofrekvenčnega sprejemnika ali kot pri PL z ustreznim modeliranjem vpliva ionosfere (Klobučarjev model).
- Troposferska refrakcija – vpliv nevtralne atmosfere na valovanje, ki je neodvisno od frekvence valovanja, tako sta na oba načina, fazni in kodni, psevdorazdalja enako dolgi. Pri GNSS-sistemih se jo lahko odpravi z modeliranjem troposfere (npr. Hopfieldov, Saastamoinenov model). Pri PL pa ti modeli niso primerni zaradi specifične posameznega lokalnega terena, zato je treba meriti dejanske lokalne vremenske razmere v danem trenutku izmere. Merijo se temperatura, pritisk in vlažnost ozračja.

Največji problem ostaja pogrešek multipatha oz. večpotja. Zato je pomembno, da se PL postavijo na mesta, na katerih je minimalna možnost odboja signala. Na končni rezultat ima multipath največji vpliv izmed naštetih pogreškov.

4.4.1 Zgradba Locate

Locata corporation je avstralsko podjetje, ki je razvilo novo smer PL z imenom tehnologije Locata. Najpomembneje pri vsem tem je, da je Locata povsem samostojen, neodvisen in kompatibilen z GPS-sistemom. Deluje samostojno ali v hibridnem načinu s pomočjo GPS-sistema. Glavni namen te tehnologije je, da se v težjih pogojih »vidnosti« GPS-satelitov, ko je število satelitov premajhno, vzpostavi t. i. mobilna terestična postavitve sistema Locata, ki lahko v celoti nadomešča GPS-sistem na povsem poljubni lokaciji v še tako težkih razmerah, npr. rudnikih, predorih, v notranjosti stavb itn. (Locata corporation, 2013).



Slika 8: Shema delovanja PL

Tehnologija Locata je sestavljena iz naslednjih komponent (Locata corporation, 2013).

- **LocataLite** – je mobilni sprejemnik, ki ima tri antene. Ena antena Rx je namenjena za sprejemanje GPS-signalov, drugi dve anteni Tx1 in Tx2 sta pa namenjeni oddajanju v t. i. industrijskem, znanstvenem in medicinskem območju ISM (angl. Industrial, Scientific and Medical radio bands), ki je prosto dostopno in omogoča oddajanje na različnih frekvencah ter sprejemanje z različnimi napravami (GSM, Wi-Fi, Bluetooth, NFC – angl. Near Field Communication). Signal je postavljen na elektromagnetni valovanji S1 ($f_{S1}=2.414$ GHz) in S6 ($f_{S6}=2.465$ GHz). Obe anteni tako oddata štiri signale na podobnih C/A-kodah kot GPS, na vsakem signalu so podatki o koordinatah antene oddajajočega oddajnika, PRN-kode (angl. Pseudo Random Noise) in meteorološki podatki.
- **Locata** – je mobilni sprejemnik, s katerim se premika po terenu, identično kot GPS-sprejemnik, s tem, da Locata poleg sprejemanja GPS-signalov, sprejema tudi v frekvenčnem območju ISM. Vgrajeno ima eno anteno. Namesto sprejemnika Locata lahko uporabnik s primerno nameščeno strojno in programsko opremo uporablja tudi npr. pametni mobilni telefon.

- **LocataNet** – je omrežje, v katero se vzpostavi in poveže vse LocataLite v mrežo ter pošilja signale med seboj. Spremlja se sam potek in funkcionalnost LocataLite ter nadzoruje in opravlja celotni sistem. Je povezovalni člen med »zemeljskimi sateliti« LocataLite ter uporabnikom s sprejemnikom Locata.
- **TimeLoc** – omogoča brezžično sinhronizacijo časa vseh LocataLite v omrežju LocataNet. To omogoča preprosto točkovno določitev položaja sprejemnika Locata. Je tehnološka novost, patentirana od Locata korporacije.

Postavljenih LocataLite postaj je na terenu lahko več, odvisno od karakteristike lokacije, namena, zahtev.

Posebnost je tudi to, da se celoten sistem ob ustreznem vremenu lahko v celoti napaja iz sončnih kolektorjev, ki so postavljeni v bližini LocataLite.

4.4.2 Delovanje Locate

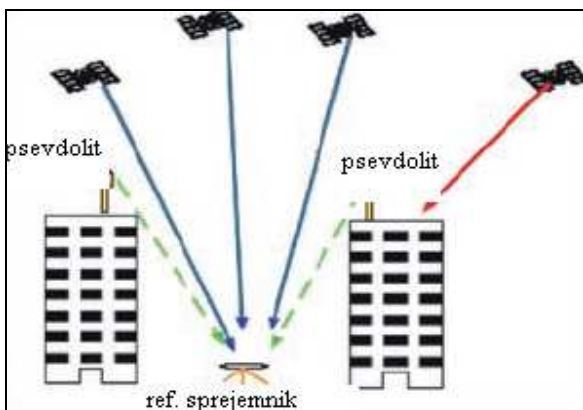
Na zeleni lokaciji se postavijo LocataLite »zemeljski sateliti«, v določeno geometrijsko zaključeno mrežo, če je mogoče naj bi bila vidnost (število povezav) med njimi čim bolj številčna, ni pa nujno. Razdalja med LocataLite oddajniki naj bi bila cca. 5 km, odvisno od razgibanosti terena. Mogoči so trije načini določitve začetnega položaja glede na samostojnost oz. kompatibilnost Locate sistema (Locata corporation, 2013):

- **vidljivost vseh LocataLitov z GPS-sateliti** – vsi LocataLiti v mreži začnejo sprejemati GPS-signal, vsak pa z ustrezno vgrajeno programsko in strojno opremo določi svoj položaj;
- **delna vidljivost LocataLitov z GPS sateliti** – določeni LocataLiti v mreži, na katerih so vidni GPS-sateliti, izračunajo svoj položaj;
- **LocataLite oddajniki ne sprejemajo signala GPS-satelitov** – do izraza pride samostojnost in neodvisnost sistema, saj LocataLite določi svoje položaje brez GPS-satelitov v lokalnem koordinatnem sistemu, ki se nato transformira v izbran koordinatni sistem.

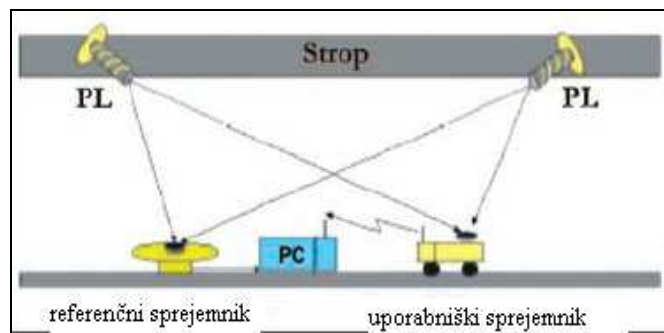
Po začetku sprejemanja GPS-signalov in generiranja štirih signalov iz dveh anten Tx1 in Tx2 se »vklopi« omrežje LocataNet. Za sinhronizacijo časa celotne mreže skrbi tehnologija TimeLoc. Vse LocataLite postaje so sinhronizirane tako, da imajo med seboj znani čas. To se doseže s primerjavo med oddanimi in sprejetimi signali bodisi med dvema ali več LocataLiti.

LocataNet predstavlja mrežo, v kateri so LocataLiti med seboj povezani z vsemi mogočimi povezavami. Tako je vsak položaj LocataLita določen večkrat, s čimer se doseže večja natančnost položaja postaj v celotni mreži. Nadštevilnost povezav med samimi LocataLiti je odvisna od številnosti zadnjih. Ko je razvita celotna mreža, se končnemu uporabniku Locata ali mobilni enoti posredujejo vsi signali, na osnovi katerih je določen položaj uporabnika.

Zanimiva je tudi združitev sistema Locata s sistemom za rudarjenje s t. i. produktom Leica JPS, podjetja Leica. Sistem je namenjen izključno za rudarjenje. Glavna značilnost skupnega sistema je, da je poleg GPS kompatibilen tudi še s sistemi GALILEO, GLONASS in COMPASS ter seveda z Locato.



Slika 9: Prikaz delovanja psevdolitov z GNSS
vir: Ning (2004)



Slika 10: Samostojni način delovanja psevdolita
vir: Jun i Kee(2006)

4.4.3 Kombinacija Locate in Leice t.i. JPS-sistem

Leica geosystem je v sodelovanju z podjetjem Locata corporation, razvilo in predstavilo v letu 2012 t.i. Jigsaw Positioning System (JPS). To je prvi komercialni sistem namenjen predvsem za namene rudarjenja. JPS-sistem je praktično zelo podoben že predstavljenemu sistemu Locata. Sistem JPS je povsem samostojen, neodvisen in kompatibilen z GNSS-sistemi (GPS, GLONASS, GALILEO in COMPASS). Omogoča delovanje samo v Locata sistemu, to v primerih, ko GPS-signali niso dostopni, ali pa v t.i. hibridnem načinu. Slednje je kombinacija sprejemanja in obdelava tako GNSS-signalov kot Locata-signalov (Locata, Brednon in drugi, 2013).

JPS-sistem je sestavljen iz treh komponent (Locata, Brednon in drugi, 2013).

- **JPS LocataLite** – je mobilni sprejemnik, kateri poleg napajanja iz električnega omrežja omogoča še napajanje preko sončnih kolektorjev. Sprejemnik ima štiri antene. Ena antena predstavlja sprejemanje GNSS-signalov, ena antena omogoča sprejemanje Locata-signalov in še dve anteni, ki omogočata oddajanje Locata-signalov. JPS LocataLite vsebuje še LocataLite Module, ki omogoča vso obdelavo prejetih signalov in pošiljanje do JPS Locata. Signal je postavljen na elektromagnetno valovanje s frekvenco $f=2.414$ GHz. Za nemoteno brezžično sinhronizacijo časa vseh JPS LocataLite v omrežju JPS LocataNet omogoča tehnologija TimeLoc.
- **JPS Locata** – je mobilni sprejemnik z eno anteno, s katerim se premika po terenu, identično kot GPS-sprejemnik, s tem, da Locata poleg sprejemanja GNSS-signalov, sprejema tudi v svojem frekvenčnem območju $f=2.414$ GHz.
- **JPS LocataNet** – je omrežje, v katero se vzpostavi in poveže vse JPS LocataLite v mrežo ter pošilja signale med seboj. Spremlja se sam potek in funkcionalnost JPS LocataLite ter nadzoruje in opravlja celotni sistem. Je povezovalni člen med zemeljskimi sateliti JPS LocataLite ter uporabnikom s sprejemnikom JPS Locata.

JPS sistem deluje zelo podobno kot že predstavljeni sistem Locata. Prav tako je sama natančnost primerljiva z sistemom Locata. Sistem JPS je bil izključno razvit za v uporabo v rudarstvo, kot je merjenje v globokih jamah, v visokih obzidjih, tam kjer z GNSS-sprejemnikom niso možne meritve, zaradi »nedostopnosti« GNSS-signalov. Tako se lahko pridobijo podatki, kot npr. o količini izkopa določene rudnine v rudnikih, na deponijah ipd.

4.4.4 Natančnost Locate

Tako pri statični kot pri kinematični uporabi proizvajalec in druge študije navajajo natančnost položaja, tako v horizontalnem kot v višinskem smislu do 1 cm ali celo bolje. Te natančnosti veljajo za pridobitev položajnih podatkov v realnem času, ki so podane z standardnim odklonom (Locata corporation, 2013).

Preglednica 6: Natančnost Locate

Hz-natančnost	V-natančnost
do 1 cm	do 1 cm

Sama natančnost položaja psevdolitov je v primerjavi s statično metodo pri GNSS-sistemu primerljiva. Prednost PL je predvsem v času trajanja meritev, ki potekajo sorazmerno hitro, pri statični metodi pa so meritve dolgotrajne, odvisno od želene natančnosti.

4.4.5 Uporaba psevdolitov

Psevdoliti so v uporabi za različne namene, kot so:

- navigacija v zaprtih prostorih in urbanih »kanjonih«;
- logistika;
- letalstvo;
- pomorstvo;
- upravljanje robotov – npr. na vesoljskih odpravah (na Marsu);
- gradnja predorov;
- industrijski nameni (postavljanje zahtevnih konstrukcij);
- rudarstvo.

Psevdoliti omogočajo določitev položaja z visoko natančnostjo, zato jih je mogoče uporabljati tudi v geodetske namene, npr. pri opazovanju stabilnosti večjih premostitvenih objektov in tudi za številne druge potrebe spremljanja premikov in deformacij.

4.5 TPS-sistemi

TPS-sistemi (angl. Total Stations) oz. avtomatski elektronski tahimetri so trenutno najvišja stopnja klasičnih geodetskih inštrumentov. V primerjavi s klasičnim tahimetrom se razlikujejo tako v sami zgradbi kot možnosti avtomatiziranega merjenja horizontalnih in vertikalnih kotov in dolžin.

Začelo se je z vprašanjem, kako izmeriti dolžino do neke točke (npr. sleme strehe, vogal hiše, ki ni dostopen) brez uporabe reflektorja. To so rešili s t. i. laserskim razdaljemerom z vidnim laserskim žarkom. V primerjavi s »klasičnim« načinom izmere, kjer uporabljamo reflektor, ki temelji na infrardečem (IR) elektronskem razdaljemeru, je način izmere dolžine tudi precej hitrejši.

Prve raziskave so se začele, ko so med letoma 1982 in 1986 v Švici razvili prvi prototip avtomatskega elektronskega tahimetra z imenom Topomat. Sestavljen je bil iz dveh kombiniranih enot, teodolita Wild-T-2000 in razdaljemera Wild Di1000. V daljnogledu je imel vgrajeno tudi kamero CCD (angl. Charge Coupled Device), ki je poskrbela za zajem digitalno merjenega objekta. V veliki meri vsebujejo novodobni TPS-sistemi osnovne rešitve tahimetra Topomat z nadgradnjo novejših tehnologij. Za začetek serijskega izdelovanja TPS-sistemov, ki so bili že opremljeni s tehnologijami avtomatskega viziranja tarče (AVT) in avtomatskega sledenja tarče (AST), kar je omogočalo celo nadgradnjo s sistemom za avtomatsko iskanje tarče (AIT), velja leto 1990, ko je podjetje Geotronics predstavilo tahimeter Geodimeter 4000 (Mataija, 2008).

Sam razvoj je šel nato v smer avtomatizacije meritev. S tem bi se skrajšal čas izmere in odpravila potreba po klasičnem operaterju za inštrumentom. Delo bi prevzel samo en človek, ki bi na terenu z reflektorjem v roki upravljal inštrument z daljinskim upravljaucem s pomočjo t. i. telemetrične povezave.

Avtomatizirani/robotski elektronski tahimetri TPS omogočajo postavitev GNSS-antene na vrhnji del tahimetra. Tako pridobimo novodobno totalno postajo, ki vključuje dva sistema, TPS in GNSS. Inštrument se v prostoru orientira prek GNSS-sistema, npr. z metodo RTK, s katero pridobimo položaj inštrumenta v realnem času. S TPS-sistemom izvajamo meritve do posameznih točk. Z obema sistemoma pridobimo podatke o koordinatah točk in njihovi natančnosti že med delom na terenu.



Slika 11: Prikaz TPS-sistema Leica TS 30 (vir: http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-TS30_77093.htm)

4.5.1 Zgradba TPS-sistema

Tahimeter je zgrajen iz treh podsistemov, kot navaja Kogoj in drugi (2008):

- **podсистema za merjenje horizontalnih in vertikalnih kotov;**
- **podсистema za merjenje dolžin;**
- **podсистema za avtomatsko prepoznavanje tarče (APT), avtomatsko sledenje tarče (AST); avtomatsko iskanje tarče (AIT).**

Sestavljen je še iz:

- **dveh servomotorjev** – za zgornji sestav inštrumenta in daljnogleda (motorja vrtita zgornji del inštrumenta po horizontalni in vertikalni osi);
- **merske kamere** – tipala CCD ali CMOS (angl. Complementary Metal Oxide Semiconductor);
- **luči za usmerjanje** – vgrajena na vrhnjem delu inštrumenta;

- **daljinskega vmesnika** – ki omogoča daljinsko upravljanje (telemetrična povezava bodisi na osnovi radijske ali Bluetooth povezave).

Samo avtomatizacijo TPS-sistema razdelimo na dve razvojni stopnji, kot opisujejo Kogoj in drugi (2008).

- **Avtomatsko prepoznavanje tarče (APT)** – je sistem, ki nadomesti ročno fino viziranje tarče. Še vedno pa je potrebno grobo viziranje operaterja, saj APT-sistem ne omogoča avtomatskega iskanja tarče. APT je sestavljen še iz dveh sistemov, avtomatskega viziranja tarče (AVT) in avtomatskega sledenja tarče (AST). Jedro sistema APT je AVT, ki za uspešno delovanje potrebuje strojno in programsko opremo, kot jo uporablja sistem AST. APT-sistem je deloma avtomatiziran, slabost je predvsem ta, da še ni zmožen sam poiskati in grobo navizirati ciljne točke.
- **Avtomatsko iskanje tarče (AIT)** – je nadgradnja sistema APT. Omogoča že avtomatsko grobo viziranje tarče, kar pri prejšnjem APT-sistemu še ni bilo mogoče. Tako je v celoti, kar se tiče avtomatiziranega načina merjenja, tako rekoč realizirano.

V celoti je TPS-inštrument tehnološko zelo dovršen, poleg omenjenih robotiziranih delov ima še veliko drugih funkcij, ki poenostavijo delo na terenu.

4.5.2 Delovanje APT- in AIT-sistema

AST-sistem je nadgradnja sistema AVT. Najprej avtomatski elektronski tahimeter s sistemom AVT identificira tarčo, kot navajajo Kogoj in drugi (2008). AVT-sistem je mogoče realizirati na več načinov, največkrat je realiziran s CCD- ali CMOS-kamerami, v preteklosti pa sta prevladovala bodisi z detekcijo maksimalne intenzitete povratnega signala ali z izenačitvijo jakosti signala simetrično razporejenih fotodiod.

Nato sledi AST-sistem, katerega naloga je, da sledi premikajoči se tarči. Zelo pomembno je, da sta med samo izmero stalno zagotovljeni vidnost tarče in tahimetra. Če se izgubi njun medsebojni »stik«, je potreben poseg operaterja, da ponovno grobo navizira tarčo. V sistemu AST sam tahimeter ni sposoben samostojnega iskanja tarče. To sicer omogoča še zadnja stopnja robotizacije AIT (Kogoj in drugi, 2008).

Za samo izmero na terenu potrebujemo poleg tahimetra pasivno – klasično tarčo in kontrolno enoto za daljinsko vodenje inštrumenta. Ob začetku izmere je treba v tahimetru vnesti ustrezne nastavitve za samo izmero

(nastavitev AVT-, AST-sistema). Sledi »identifikacija« tarče s sistemom AVT, najlažje je, da postavimo tarčo blizu tahimetra. Ko je identificiral tarčo, lahko začnemo samo izmero s sistemom AST. Tarčo počasi premikamo po terenu, na točke, ki bi jih radi posneli. Pri vsaki točki, ki bi jo radi posneli, mora operater to »sporočiti« inštrumentu prek kontrolne enote (Kogoj in drugi, 2008).

Inštrument je uporabljen predvsem za detajlno izmero, ki ni preveč detajlna v smislu enostavnosti posnetka. Treba je paziti na samo vidnost tahimetra – tarče. Tako ni ustrezen za opazovanje premikajočih objektov, saj je AST v osnovi zgrajen za sledenje ene tarče, ne pa za sistematično merjenje več postavljenih/signaliziranih točk s tarčami.

Zadnja stopnja avtomatizacije je sistem AIT. Omogoča avtomatsko iskanje tarče in s sistemom APT v celoti opravlja funkcijo, kot je bilo v osnovi zamišljeno, avtomatsko merjenje na terenu, ki ga opravlja ena sama oseba (angl. one man station). Sistem AIT lahko deluje na naslednja dva načina (Kogoj in drugi, 2008).

- **Z aktivnimi tarčami** – imajo nameščen oddajnik, ki oddaja EM-valovanja do tahimetra, za lažje in hitrejše produktivno iskanje AIT-sistema. Omogočena je tudi hkratna uporaba z več aktivnimi tarčami.
- **S pasivnimi tarčami** – to je klasična tarča, ki se uporablja pri terestičnih meritvah. Pri uporabi klasične tarče je treba biti zelo pazljiv za dogledanje (vidnost) tahimetra – tarče, zato so razvili t. i. 360-stopinjsko tarčo. Ki omogoča lažje meritve na terenu, ker ni potrebno tako paziti na vidnost tahimetra – tarče, kot pri klasičnih tarčah. Hiba pasivnih tarč je onemogočena hkratna uporaba več prizem, potrebno je fizično pokrivanje tarč, ki niso v trenutni fazi merjenja.



Slika 12: Izmera z TPS-sistemom proizvajalca Sokkia (vir: <http://www.sokkia.com/Products/Detail/SRX.aspx>)

V spodnji preglednici 6 so prikazane tehnične specifikacije štirih različnih proizvajalcev-TPS sistemov.

Preglednica 7: Tehnične specifikacije različnih proizvajalcev TPS-sistemov

	Leica TS30	Trimble S8	Sokkia SRX1	Topcon IS301
Natančnost Hz in V kotov po standardu ISO 17123-3	0,5"	1"	1"	1"
Natančnost merjenja dolžine po standardu ISO 17123-4	0.6 mm + 1 ppm	1 mm + 2 ppm	1.5 mm + 2 ppm	2 mm + 2 ppm
Vidno polje daljnogleda	1°30'	1°30'	1°30'	1°30'
Največja hitrost rotiranja	180°/s	115°/s	45°/s	85°/s
Doseg sistema AVT	1,5-1000 m (standardna tarča GPR1) 1-800 m (360° tarča GRZ4)	0,2-800 m (aktivna tarča) 0,2m-500 m (pasivna tarča)	2-1000m (standardna tarča AP01) 2-600 m (360° tarča APT1)	1,5-1000 m 1-600 m
Doseg sistema AST	5-800 m (standardna tarča GPR1) 5-600 m (360° tarča GRZ4)		5-800 m (standardna tarča AP01) 5-500 m (360° tarča APT1)	5-600 m (360° tarča)
Največja hitrost sledenja sistema AST	9 m/s pri 20 m 45 m/s pri 100 m	/	/	15°/s

4.5.3 Natančnost TPS-sistema

Natančnost določitve koordinat je odvisna od natančnosti inštrumenta (preglednica 6, v kateri so predstavljene osnovne karakteristike najnatančnejših posameznih proizvajalcev). Za doseganje natančnosti, kakor jo navaja proizvajalec, je potrebna popolna notranja natančnost inštrumenta, ki se jo doseže ob pogoju, da so inštrumenti kalibrirani. Zato je treba na določeno časovno obdobje (predvidi ga proizvajalec) ali ko sami ugotovimo, da ima inštrument določene inštrumentalne pogreške, inštrument kalibrirati pri pooblaščenem serviserju. Prikazane natančnosti so podane z standardnim odklonom.

Sorazmerno majhen vpliv imajo tudi vremenske razmere, ki pa se jih z meritvami temperature, pritiska in vlažnosti v postopku redukcije izniči ali zmanjša.

Preglednica 8: Natančnost TPS-sistema

Hz-natančnost	V-natančnost
1 mm ali bolje	1 mm ali bolje

Na samo natančnost vpliva tudi velikost izmerjenega območja oz. oddaljenost TPS-instrumenta – tarče, tako da je vplivov na natančnost veliko in ni mogoče preprosto določiti okvirov natančnosti določitve koordinat točk.

4.5.4 Uporabnost TPS-sistema

TPS sistem se lahko uporablja pri vseh nalogah geodezije in drugih strokah, kjer je potrebna visoka točnost določitve položaja:

- zemljiški kataster;
- kataster stavb;
- topografske izmere;
- inženirska geodezija;
- strojništvo;
- rudarstvo;
- gradbeništvo – npr. usmerjanje strojev;
- geologija.

Izmed naštetih področij uporabe se največ uporablja za potrebe zemljiškega katastra, katastra stavb, pri zakoličenju različnih objektov, pri postavljanju strojev v industriji ipd.

4.6 Inercialni sistemi

Inercialni sistemi INS so neodvisni od drugih sistemov, so v celoti samostojni in niso odvisni od zunanjih vplivov. Na podlagi merjenja kotnih zasukov in pospeškov, ki ju imenujemo tudi inercialni merilni enoti (IMU), pridobimo v realnem času položaj, hitrost in smer premikanja objekta, na katerega je pritrjen INS-sistem (Kozmus, 2009).

Ime INS-sistemi se nanaša na integracijo vsaj dveh senzorjev, pospeškometra in žiroskopa, mogoča pa je tudi dopolnitev z barometrom, kompasom, termometrom, GNSS-modulom ipd.

Na začetku 20. stoletja, po izdelavi pospeškometra in žiroskopa, so uporabljali omenjena senzorja kot samostojno enoto v vojaških letalih, ladjah, nato še v civilnih letalih. Zanimiva je tudi združitev žiroskopa in

kompassa v t. i. napravo žiro – kompas, ki se je uporabljal prav tako v letalstvu in predvsem na ladjah (Gyrocompass, 2013).

Za prvo komercialno uporabo, z združitvijo obeh senzorjev pod imenom INS-sistemi, velja leto 1960. To je bil prvi produkt z imenom LN-3, ki so ga namestili v vojaško letalo. Sistem je bil sestavljen iz treh pospeškometrov in dveh žiroskopov ter iz računalnika, ki je bil realiziran v kardanski obliki (LN-3, 2013).

Navigacijo z INS-sistemi imenujemo tudi slepa navigacija (angl. dead reckoning). To je sistem navigacije za ugotavljanje trenutnega položaja na podlagi začetne znane točke, prek katere se računajo smer, čas in hitrost premikajočega se objekta (podobno kot slepi poligon), (Kozmus, 2009).

4.6.1 Zgradba INS-sistema

INS-sistem je sestavljen iz naslednjih komponent.

- **Žiroskop** – ali vrtavka je fizični senzor za zaznavanje in merjenje kotnih zasukov. Zasuke se meri v enotah, ki sta bodisi v stopinjah na sekundo ali v stopinjah na uro ($^{\circ}/s$, $^{\circ}/h$).

Ime žiroskop je prvi uporabil francoski fizik Leon Foucault leta 1852. Poznamo enosne, dvoosne in triosne izvedbe vrtavk. Največ se uporablja zadnje omenjene, predvsem zaradi merjenja v vseh treh oseh in posledične poznejše določitve s pomočjo pospeškometra, ki ga vrtavka tudi orientira, kar omogoča določitev položaja v 3D-prostoru (Gyroscope, 2013).

Glede na samo zgradbo vrtavke poznamo tri vrste žiroskopov:

- mehanične;
 - optične;
 - vibracijske MEMS (angl. Micro – ElectroMechanical Systems).
- **Pospeškometer** – je fizični senzor za zaznavanje in merjenje pospeška in gravitacije, bodisi v eni, dveh ali treh oseh. Merilniki pospeška delujejo po načelu drugega Newtonovega zakona, kjer velja, da sila ki deluje na telo, povzroči pospešek v smeri delovanja sile na telo. Izračunani pospešek ima enoto m/s^2 . Leta 1920 sta McColluma in Peters razvila prvi komercialni pospeškometer na osnovi uporovnega mostička (Accelerometer, 2013).

Glede na samo zgradbo pospeškometrov se delijo na vsaj, kot navaja Smisl (2009):

- uporovni;
- kapacitivni;
- optični;
- vibrirajoči;
- piezoelektrični;
- MEMS.

Zadnjih nekaj let se največ uporablja t. i. MEMS oz. mikro-elektromehanski senzorji, ki so namenjeni za vgrajevanje v elektronske naprave. Prednost je v majhnosti senzorja (nekaj mm), kompatibilnosti več vgrajenih senzorjev in v nizki ceni. Res pa je, da je natančnost v primerjavi z optičnimi senzorji majhna. Lastnosti MEMS-senzorjev je tudi, da so bodisi sestavljeni samo iz enega senzorja (npr. žiroskopa) ali pa so, kar je največkrat v uporabi, sestavljeni iz večjih senzorjev (pospeškometer, žiroskop, barometer, termometer itn.), (Kozmus, 2009).

- **Računalnik** – z nameščeno ustrezno strojno in programsko opremo izvaja računske operacije, ki so potrebne za pridobitev končnega rezultata, določitev položaja, hitrosti in smeri objekta na podlagi pridobljenih meritev senzorjev.

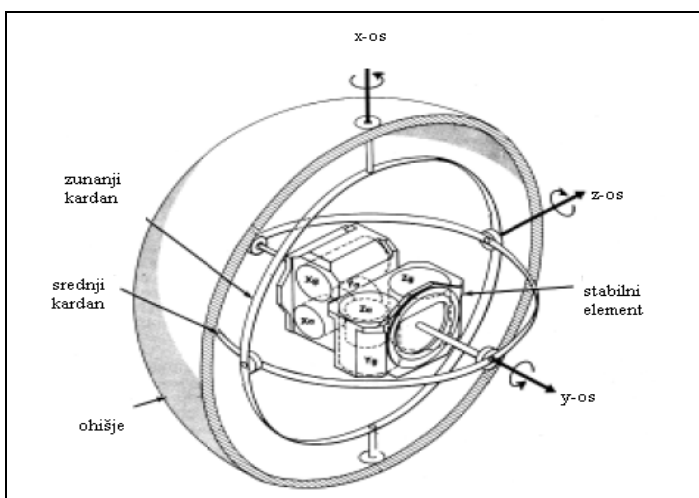
Na same meritve senzorjev IMU-enote (MEMS) vplivajo naslednji osnovni pogreški MEMS, ki jih je treba v računskem procesu eliminirati oz. v največji mogoči meri odstraniti (Nassar, 2003).

- **Pogrešek vrtavke:**
 - Pogrešek izhodne enote – nastane zaradi različne referenčne vrednosti v mirovanju na izhodni enoti vrtavke v danem trenutku merjenja v primerjavi s podano nominalno vrednostjo proizvajalca, ki je izračunana na podlagi meritev v ustreznih kalibracijskih postopkih. Velik vpliv na različni referenčno in nominalno vrednost (podani v enotah električne napetosti) imata temperaturni vpliv in čas, s katerim se linearno povečuje pogrešek. Zato se največkrat vgrajujejo tudi temperaturni senzorji, ki omogočajo odstranitev tega vpliva. Razlika v električni napetosti privede do bodisi manjše ali večje vrednosti kotnega zasuka okrog posamezne osi, ki se podaja v enotah $^{\circ}/s$ ali $^{\circ}/h$.
 - Pogrešek faktorja merila – nastane zaradi različne merjene in prave vrednosti kota zasuka okrog posamezne osi. Vzrok je v temperaturi in v spreminjajočem se naklonu terena v času merjenja. Razmerje med merjeno in najverjetnejšo vrednostjo kota zasuka se podaja v enotah ppm.

- Pogrešek zaradi šuma sistema – nastane zaradi različnih vplivov, motenj na delovanje senzorja tako v elektroniki kot v mehaniki. Je temperaturno odvisen in s časom se vrednost frekvence spreminja. Je obsežen pogrešek, ki se ga eliminira s stohastičnimi modeli. Vrednost pogreška se navaja v enoti $^{\circ}/s$.
- **Pogrešek pospeškometra:**
 - Pogrešek izhodne enote – nastane zaradi različne merjene vrednosti pospeška v mirovanju na izhodni enoti in prave vrednosti. Vzrok je predvsem v temperaturnem vplivu in t. i. stabilnosti delovanja senzorja. Navaja se v enotah mg (mili g).
 - Pogrešek faktorja merila – je razmerje med merjeno in najverjetnejšo vrednostjo pospeška po posamezni osi. Prav tako se pozna temperaturni vpliv na same meritve kot v drugih tipih pogreškov. Razmerje se podaja v enotah ppm.
 - Pogrešek zaradi šuma sistema – je podoben kot pogrešek pri vrtavki, s to razliko, da se navaja v enotah mg (mili g).

Samo zgradbo INS delimo na dva načina, kot opisuje Kozmus (2000).

- **Kardanski sistem** – predstavlja fizično realizacijo navigacijskega koordinatnega sistema na kardanski podlagi v sistemu treh obročev, katerih osi so med seboj pravokotne. Vloga obročev je izolacija platforme od vplivov nosilnega objekta. Ker je v praksi nemogoče ustvariti popoln ravnotežni sestav in osi brez trenja, se v te sisteme nameščajo žiroskopi, ki zaznajo zasuk sistema zaradi trenja osi ali neravnotežja sestava.



Slika 13: Prikaz kardanskega inercialnega sistema (vir: http://www.history.nasa.gov/alsj/lm_imu.gif)

- **Pritrjen sistem** – sistem senzorjev je pritrjen neposredno na ohišje nosilnega objekta. Osi IMU sovpadajo z osmi telesa, merijo pa se projekcije specifičnih sil in kotne hitrosti v objektne koordinatnem sistemu. Vrednosti meritev pospeškov je treba transformirati iz objektne v tako imenovani navigacijski koordinatni sistem. Transformacijo izvedemo z rotacijsko matriko, ki jo določimo na podlagi vrednosti odčitkov zasukov žiroskopov. Vrednosti pospeškov množimo z ustreznimi elementi rotacijske matrike, da dobimo komponente pospeška v smeri koordinatnih osi, ki jih uporabimo za določitev hitrosti in poti v smereh posameznih koordinatnih osi v navigacijskem koordinatnem sistemu. Ohišje IMU je običajno v obliki geometrijskega telesa (kvader ali valj). Pritjeni sistemi so precej lažji, manjši in cenejši od kardanskih sistemov.



Slika 14: Inercialna merilna enota – pritrjen sistem proizvajalca IMAR
(vir: http://www.imar-navigation.de/images/stories/Nav-FMS_dark.jpg)

V primerjavi med kardanskim in pritrjenim sistemom, je zadnji več v uporabi. Razlog je uporaba MEMS-senzorjev, ki so s cenovnega vidika zelo zanimivi.

4.6.2 Delovanje INS-sistema

Samostojni INS-sistem deluje na podlagi treh pospeškometrov, ki so nameščeni pravokotno na vsako izmed osi x, y in z, zaznavajo in merijo pospešek v vsaki izmed osi. Prav tako nameščeni trije žiroskopi, ki so prav tako nameščeni pravokotno na vsako izmed osi x, y in z, zaznavajo in merijo kotne zasuke v vsaki izmed osi. Podatki obeh senzorjev se nato preračunavajo v računalniku IMU-enote, prva integracija pospeška poda podatek o sami hitrosti enote INS, druga integracija pospeška (prva integracija hitrosti) poda podatek o poti enote INS. Podatek o zasuku žiroskopa podaja smer zasukov pospeškometrov, po kateri se premika enota INS. Obdelava samih

meritev je kompleksna, saj je poleg računanja in eliminiranja pogreškov treba upoštevati tudi lokalno gravitacijo. Na koncu se pridobijo podatki o položaju (f_i , l_a , h) in hitrosti INS-enote v realnem trenutku (Kozmus, 2009).

Danes najpogostejša je uporaba integriranega sistema INS/GNSS, ki omogoča precej natančnejše določanje položaja, hitrosti objekta po zaslugi medsebojnega združevanja in zmanjševanja popravkov meritev.

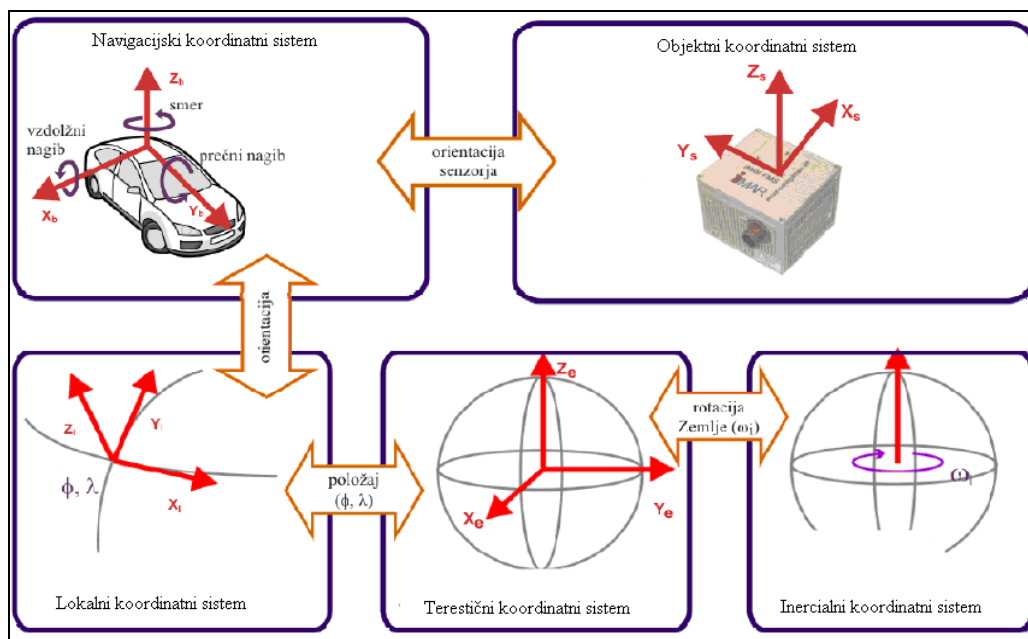
Pri združevanju podatkov iz INS- in GNSS-sistema poznamo naslednje tri načine (Ranfl, 2009).

- **Nesklopljena združitev** – meritve in izračunavanje položaja se izvajajo neodvisno, ločeno tako z INS-senzorji kot s sprejemnikom GNSS. Združevanje meritev obeh sistemov se izvede z algoritmom, v katerem uporabljamo podatke enega ali drugega sistema, odvisno od razpoložljivosti.
- **Šibko sklopljena združitev** – meritve in izračunavanje položaja potekajo identično kot pri nesklopljeni združitvi. Razlika je v samem poteku obdelave meritev, kjer se lahko izboljša določitev položaja tako, da upoštevamo meritve sistema GPS za modeliranje napak v INS-sistemu.
- **Močno sklopljena združitev** – meritve se izvajajo identično kot pri zgornjih sistemih, razlika je v skupni obdelavi surovih meritev tako INS- kot GNSS-sistema.

Zgodovinsko gledano je najbolj uveljavljeno orodje za obdelavo podatkov senzorjev združenih sistemov GNSS/INS kalmanov filter (KF). KF obdela vsa opazovanja ne glede na njihovo natančnost za pridobitev ocene trenutne vrednosti neznank v procesu z uporabo znanja o dinamiki sistema in lastnostih merilnih instrumentov, statističnega opisa šumov sistema, pogreškov opazovanj in nezanesljivosti dinamičnih modelov ter vseh razpoložljivih informacij o začetnih pogojih neznank v sistemu, kot opisuje Kozmus (2002).

Za določevanje položaja v inercialnem sistemu je treba opraviti precej transformacij koordinatnih sistemov. V osnovi inercialnega sistema ločimo dva koordinatna sistema, objektni koordinatni sistem in navigacijski koordinatni sistem.

Iz navigacijskega koordinatnega sistema je najprej potrebna transformacija v lokalni koordinatni sistem, ki nam že poda lokalne koordinate vozila/sprejemnika. Ampak, ker združimo ta inercialni sistem z GNSS-sistemom, je potrebna transformacija še v terestični koordinatni sistem WGS84 (angl. World Geodetic System).



Slika 15: Prikaz transformacije koordinatnih sistemov (vir: Ranfl, 2008)

4.6.3 Natančnost INS-sistema

Sama natančnost INS-sistema je odvisna od vgrajenega tipa IMU-senzorja in načina vgradnje, bodisi kardanskega ali pritrjenega sistema. Tipi IMU-senzorja se razlikujejo po ceni, natančnosti, velikosti, teži. Po velikosti pogreškov se delijo na pet razredov, morski, navigacijski, taktični, industrijski in uporabniški. Prvi je najdražji in obenem najnatančnejši INS-sistem. Najpogosteje je v zadnjem času v uporabi zadnji sistem, uporabniški, ki je po zaslugi MEMS-senzorjev zelo uporabljen tam, kjer ni potrebna velika natančnost. Prikazana natančnost je podana z standardnim odklonom (Kozmus, 2009).

Preglednica 9: Horizontalna natančnost INS-sistema

Hz-natančnost
0.01 m - 300 km

INS-sistemi dosegajo v kratkem časovnem obdobju (od 1 s-10 s) dobre natančnosti, s daljšanjem časa opazovanja pa natančnost na račun pogreškov IMU hitro pada. V tabeli se najvišja natančnost nanaša na najdražje INS-sisteme t.i. morski razred (v času opazovanja 1 s-10 s), ter najnižje natančnosti t.i. cenejšega uporabniškega razreda (v času opazovanja 1 ure).

4.6.4 Uporabnost INS-sistema

Spekter uporabe INS-sistemov je zelo širok, saj se ga lahko uporablja v najrazličnejše namene. Največ se sicer uporablja integracija INS/GNSS za naslednje namene:

- letalstvo;
- pomorstvo;
- v logistiki;
- civilna navigacija;
- industrija;
- GIS – kartiranje;
- zaščita in reševanje (reševalci, gasilci, vojaki).

V geodetske namene se največ uporablja za potrebe meritev poti, ter za potrebe izdelave kart.

4.7 Radijsko (radarski) sistemi

Radijsko (radarski) sistem oz. samo kratica RADAR (angl. RADio Detection And Ranging) je oznaka za radijsko detekcijo in rangiranje. Radar oddaja elektromagnetno valovanje, ki pada na cilj in se od njega odbija na vse strani. Del odbitega valovanja sprejme tudi občutljivi radarski sprejemnik in tako dobi »sliko« cilja. Tako dobimo smer, oddaljenost in višino ciljnega objekta. Radar deluje v nizkofrekvenčnem elektromagnetnem (EM) valovanju v segmentu radijskih valov. Spekter EM-valovanja je razdeljen na več segmentov glede na frekvenco in valovno dolžino. To so radijski valovi, mikrovalovi, infrardeča svetloba, vidna svetloba, ultravijolična svetloba, rentgenski žarki in gamažarki. Manjša je frekvenca, večja je valovna dolžina in obratno (Radar, 2013).

Robert Watson Watt velja za odkritelja radarja. Prvi je naredil radar za meteorologijo (opazovanje in napovedovanje vremena). Bil je tudi prvi, ki je zasnoval 2D-prikazni zaslon. Razvoj je bil skokovit pred 2. svetovno vojno z dveh strani – Nemčije in Anglije (Radar, 2013).

Christian Huelsmeyer je prvi prikazal in patentiral uporabo radijskih valov (radar) leta 1904. V osnovi je bil zgrajen tako kot današnji sistemi – iz oddajnika, antene in sprejemnika. Namenjen je bil za odkrivanje tujih ladij in imel doseg 3 km (Radar, 2013).

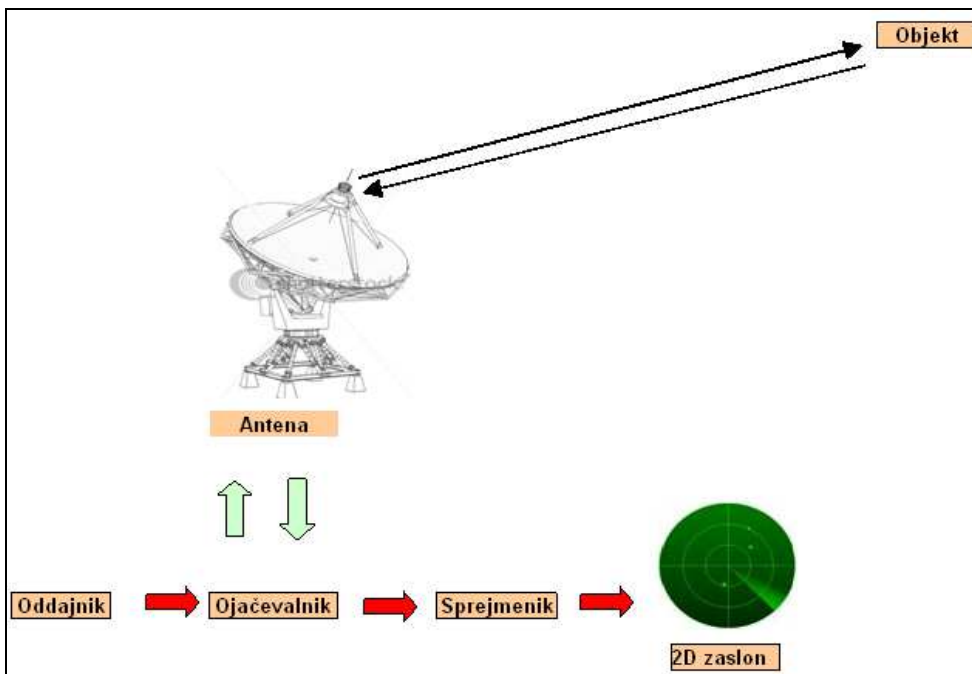
Hans Erich Holmann je bil vodilni nemški tehnični strokovnjak za radarsko tehnologijo. Patentiral je 300 patentov na vseh ključnih sestavinah sistema, kot so nihanje – oscilator, oddajniki, sprejemniki in katodna cev za zaslon (Radar, 2013).

4.7.1 Zgradba radarja

V osnovi radar sestavljajo naslednje komponente (Radar, 2013).

- **Oddajnik** – oddaja elektromagnetno valovanje z določeno frekvenco, ki se pošlje do antene.
- **Antena** – je vmesni člen med oddajnikom in sprejemnikom. Je pomemben člen, saj z anteno usmerimo valovanje v želeno smer ali kar je največkrat v uporabi, valovanje se pošilja v vse smeri. Obstaja veliko različnih tipov in oblik anten. Največkrat uporabljena je t. i. parabolična antena, ki ima lastnost močne usmerjenosti oddanega vala in učinkovito sprejema odbito valovanje.

- **Sprejemnik** – sprejme odbito valovanje ter z ojačevalnikom in ustreznimi filtri določi smer opazovanega objekta.
- **Zaslon** – prvi zaslani so prikazovali površno in nepregledno izrisano obliko cilja – objekta, za kar so bili potrebni ustrezno izurjeni opazovalci. Šele zaslani s t. i. položajnimi prikazovalniki so omogočali preprosto prepoznavanje cilja, saj je središče kroga predstavljal radar. Smer in oddaljenost do cilja sta prikazani v polnem krogu (360°) v okolici radarja.



Slika 16: Shema delovanja radarja

Shema v grobem prikazuje tipično delovanje radarja, ne glede na namen radarja.

4.7.2 Delovanje radarja

Vsi radarji delujejo po podobnem principu. Oddajna antena oddaja radijsko elektromagnetno valovanje na določenih frekvencah (preglednica 10). Radijski valovi nato potujejo s svetlobno hitrostjo proti objektom, od katerih se odbijejo nazaj proti anteni. Sprejemna antena to valovanje sprejema in analizira. S tem pridobiva

podatke o smeri in oddaljenosti oziroma o položaju objekta. Ti podatki se nato uporabljajo v različne namene, odvisno od namena uporabe posameznega radarja (Radar, 2013).

Omeniti velja še t. i. Dopplerjev pojav. Pojavi se, ko se elektromagnetni val odbije od gibajočega se objekta in se njegova oddana frekvenca oz. valovna dolžina spremenita. Tako nastane razlika med frekvenco oddanega in odbitega –sprejetega valovanja zaradi premikanja cilja oz. zaradi hitrosti premikanja objekta vzdolž širjenja vala. V primeru mirujočega objekta se Dopplerjev pojav ne pojavi (Radar, 2013).

Preglednica 10: Razpon delovanja frekvenc v RADAR-skem sistemu

Ime frekvence	Kratica	Oznaka ITU	Frekvenca	Valovna dolžina
ekstremno nizke frekvence	ELF	1	3-30 Hz	100000 km – 10000 km
super nizke frekvence	SLF	2	30-300 Hz	10000 km – 1000 km
ultra nizke frekvence	ULF	3	300-3000 Hz	1000 km – 100 km
zelo nizke frekvence	VLF	4	3-30 kHz	100 km – 10 km
nizke frekvence	LF	5	30-300 kHz	10 km – 1 km
srednje frekvence	MF	6	300-3000 kHz	1 km - 100 m
visoke frekvence	HF	7	3-30 MHz	100 m – 10 m
zelo visoke frekvence	VHF	8	30-300 MHz	10 m – 1 m
ultra visoke frekvence	UHF	9	300-3000 MHz	1 m – 100 mm
super visoke frekvence	SHF	10	3-30 GHz	100 mm – 10 mm
ekstremno visoke frekvence	EHF	11	30-300 GHz	10 mm – 1 mm

Oddano elektromagnetno valovanje je lahko stalno se ponavljajoče ali s časovno zakasnitvijo, zato se deli, kot navaja Kostevc (2012), na:

- **Dopplerjev radar s kontinuiranim signalom:**
 - frekvenčno nemonuliran radar s kontinuiranim signalom;
 - frekvenčno moduliran radar s kontinuiranim signalom;

- **Pulzni Dopplerjev radar:**
 - radar z nizko ponavljalno frekvenco;
 - radar s srednjo ponavljalno frekvenco;
 - radar z visoko ponavljalno frekvenco.

Poznamo dva različna načina delovanja radarja glede na mogoče pridobljene informacije na podlagi prejetega odboja (PSR and SSR radar, 2013).

- **Primarni radar PSR** (angl. Primary Surveillance Radar) – meri le smer in oddaljenost objektov (v primeru enega radarja, če jih je več seveda, pridobi 2D-koordinate), ne pridobi pa nobenih povratnih informacij. Deluje po sistemu oddaje signala, odbitja in sprejema signala. Ta način se je uporabljal predvsem za odkrivanje sovražnih objektov (letal, zgradb ...). Prednost je vsekakor v tem, da deluje povsem neodvisno od ciljnega objekta, kar pri SSR ni mogoče.
- **Sekundarni radar SSR** (angl. Secondary Surveillance Radar) – se uporablja predvsem v nadzoru zračnega prometa. Sistem deluje podobno kot PSR, s tem, da je na objektu (letalu) še naprava, ki se imenuje transponder. Ta odda prejetemu signalu še (svojo) višino letala, identifikacijsko številko letala. Na ta način so povratne informacije »obogatene«. Sistem tako točno ve, kje določeno letalo je (položaj in višina). Novejša sistema na letališčih pa sta VOR (angl. Vhf Omnidirectional Radio range) in DME (angl. Distance Measuring Equipment).

Oba sistema se uporabljata za potrebe navigacije letal, ladij, za uporabo v vojaške namene se večinoma uporablja samo PSR-radar (PSR and SSR radar, 2013).



Slika 17: Prikaz SSR in PSR anteni, uporabljen predvsem v letalstvu

(vir: <http://www.easat.com/en/systems/air-traffic-control/secondary-surveillance>)

4.7.3 Natančnost radarja

Enoznačno je nemogoče določiti natančnost radarjev, saj na to vpliva veliko dejavnikov. Predvsem je odvisno, kakšne vrste je in za kakšne namene je posamezen radarski sistem namenjen, ki se v osnovi delijo na radarje dolgega in kratkega dosega. Pomembno je tudi, katere vrste antena se uporablja, število anten, procesorska moč, zgradba posameznega sprejemnika, kako je sposoben filtrirati posamezne prejete odmeve in nezaželene vplive v čim večji meri odstraniti. Prikazana natančnost je podana z standardnim odklonom.

Preglednica 11: Horizontalna in vertikalna natančnost radarja

Hz-natančnost	V-natančnost
20 m in več	20 m in več

4.7.4 Uporaba radarja

Spekter uporabe radarja je velik, naštetu so tipična področja uporabe:

- vojaški nameni;
- nadzor zračnega prometa;
- pomorstvo;
- meteorološki nameni;
- nadzor prometa (merilniki hitrosti).

Na dnevni ravni se jih največ uporablja za nadzor zračnega prometa in za potrebe napovedovanja vremena.

4.8 Mobilna komunikacijska omrežja

V času množične uporabe mobilnih telefonov, ko ima tako rekoč že skoraj vsak Zemljan svojega, je mobilna telefonija z leti zelo napredovala. Na začetku je imel mobilni telefon samo eno funkcijo – telefoniranje. Danes pa smo priča razvoju t. i. lokacijskih storitev oz. aplikacij. Lokacijske storitve so storitve, ki ponujajo najrazličnejše informacije temelječe na položaju uporabnika. Tako se je naenkrat pojavila potreba po določitvi uporabnikovega položaja in v povezavi z ustreznimi podatkovnimi bazami uporabniku nuditi celo paleto informacij na pametnih telefonih.

Ključno pri vsem tem je, da uporabnik v čim krajšem času pridobi položaj v okviru različnih brezžičnih omrežij in ustrezne na položaj vezane storitve.

Glede na velikosti omrežij se ta deli na Mautz (2012):

- **globalna omrežja** – GNSS sprejemnik;
- **regionalna omrežja** – mobilna navigacija na osnovi bazne ali mobilne postaje ;
- **lokalna omrežja oz. mikroomrežja** – so t. i. notranji položajni sistemi IPS (angl. Indoor Positioning System), ki omogočajo navigacijo v notranjosti zgradb.

To so tri tipična omrežja, katera se naprej uporabljajo v manjših, tudi lokalnih mrežah.

4.8.1 Mobilna navigacija

Razvoj mobilnega omrežja se začne leta 1987 in sicer s prvim mobilnim omrežjem, imenovanim NMT (angl. Nordic Mobile Telephony) izumljenim v severni Evropi. Ta sistem je imel veliko pomanjkljivost, saj pogovori niso bili šifrirani, posledično je lahko vsakdo prisluškoval pogovoru. Pozitivna stran je bila, da je sistem lahko deloval samostojno, za kar so potrebovali omrežje baznih postaj, ki so tvorile celice, tako kot je to tudi danes v novejših sistemih (Pogačnik, 2009).

GSM oz. globalni sistem za mobilno telekomunikacijo je sistem mobilnih omrežij, ki je zaživel na začetku leta 1990. GSM deluje v frekvenčnem območju med 900 Mhz in 2100 Mhz. Nadgradnja sistema je UMTS (angl. Universal Mobile Telecommunications System), ki je tretja mobilna generacija t. i. 3G. Njegova glavna lastnost je prenos mobilnih podatkov iz bazne postaje do mobilne postaje – uporabnika. Vmesna faza med GSM in UMTS je GPRS. Ta je bil le korak do UMTS, ki je deloval na paketnih prenosih podatkov. Razvile so se tudi posamezne metode prenosa, kot so bluetooth – tehnologija za brezžično povezovanje elektronskih naprav, WLAN – brezžično omrežje, wi-fi za brezžično računalniško omrežje (GSM, 2013).

Ena izmed razlik med GSM in UMTS je v različni pokritosti območja s signalom, ki omogoča natančnejše pozicioniranje v korist UMTS.

4.8.1.1 Zgradba mobilnega omrežja

Vsako mobilno omrežje je v osnovi zgrajeno iz treh komponent (Pogačnik, 2009).

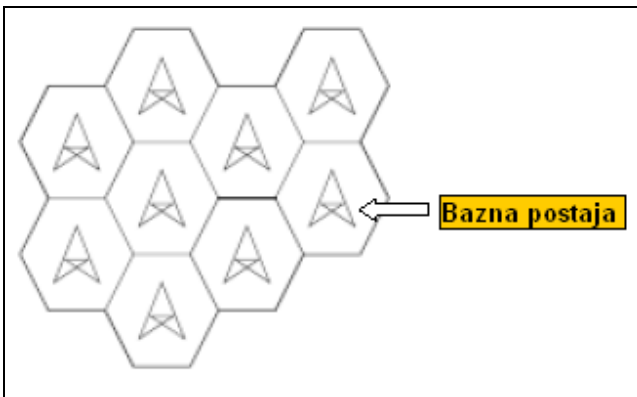
- **Mobilna postaja** – predstavlja uporabnika s SIM-kartico (angl. Subscriber Identity Module), s katero je omogočen dostop v mobilno komunikacijsko omrežje. SIM-kartica vsebuje številko IMSI (angl. International Mobile Subscriber Identity), s katero se uporabnik prijavi avtomatično. Za identificiranje v posameznih baznih postajah pa ima SIM-kartica poleg IMSI- še IMEI-številko (angl. International Mobile station Equipment Identity).
- **Bazna postaja** – sestavljena je iz dveh delov. Prvi del je sprejemno/oddajna antena, drugi del pa predstavlja kontrolni del. Bazne postaje vsebujejo radijske postaje, ki s svojimi oddajniškimi snopi definirajo celico, hkrati pa skrbijo za pravi potek radijskih protokolov tako med baznimi postajami kot mobilnimi postajami.
- **Mrežna povezovalna enota** – sestavljena je iz različnih povezljivih računalniških sistemov, katerih glavni povezljivi element je MSC (angl. Mobile Switching Center).

Za ustrezno pokritost območja s signalom pa skrbijo t. i. celice. Celotno mobilno omrežje v Sloveniji je sestavljeno iz številnih celic/enot, ki pokrivajo območje okrog bazne postaje. Velikost celic je odvisna od števila uporabnikov. Tako je v urbanih okoljih več baznih postaj kot v ruralnem okolju.

Kot navaja Pogačnik (2009) se velikost celic deli na naslednje.

- **Makrocelice** – pokrivajo največje območje, po navadi območje vzdolž avtocest ali pa ruralna območja. Število sočasnih uporabnikov je tipično precej majhno. Antene so po navadi nameščene na visokih drogovih.
- **Mikrocelice** – pokrivajo srednje veliko območje. Območja s signalom so v primerjavi z makrocelicami precej manjša. Uporabljajo se v urbanih, gosto naseljenih območjih. Antene so največkrat nameščene na stolpnih, visokih objektih.
- **Pikove celice** – pokrivajo manjša območja, npr. trgovinske centre. Antene so v tem primeru nameščene v notranjosti zgradbe.
- **Dežnikove celice** – pokrivajo le območje nekaj metrov stran od antene, uporabljajo se npr. na sejnih.

Največ je nameščenih makrocelic in mikrocelic, ki v največji meri pokrivajo celotno Slovenijo.



Slika 18: Shematski prikaz celic mobilnega omrežja (vir: Pogačnik G., 2009)

4.8.1.2 Delovanje mobilne navigacije

Bazna postaja je namenjena oddajanju in sprejemanju signala v frekvenčnem območju med 900 Mhz in 2100 Mhz do mobilne postaje in pošiljanja pridobljenih podatkov do mrežnih povezovalnih enot. V baznih postajah se tudi zbirajo podatki, kot so število pogovornih minut, poslana sporočila, prenos podatkov ipd. Poleg tega lahko v vsakem trenutku pridobijo podatke o samem položaju uporabnika (Pogačnik, 2009).

Metode, s katerimi ugotovimo položaj uporabnika, so (Pogačnik, 2009):

- **metode na samem omrežju:**
 - celična identifikacija – je preprosta metoda, s katero se na podlagi klicanja identificira posamezno celico, natančnost je nizka, saj je odvisna od velikosti posameznih celic;
 - čas prihoda – na podlagi časa prihoda signala od mobilne do bazne postaje se izračuna položaj uporabnika s preseki oddaljenosti. Metoda dejansko temelji na trilateraciji, (natančnost je večja, če je na voljo več baznih postaj);
 - časovna razlika prihoda – podobna je prejšnji metodi, s tem, da se tukaj upošteva časovna razlika med prihodi signala na nekaj baznih postaj;
 - kot prihoda – temelji na meritvi kota med oddanim valovanjem mobilne in bazne postaje, (metoda temelji na načelih triangulacije, potrebne so antene, ki omogočajo usmerjen prenos signala);
 - sprejeta moč signala – v osnovi temelji na merjenju sprejete moči signala, ki je odvisna tudi od morebitnih ovir, ki oslabijo moč signala. Mogoče so meritve na bazni ali mobilni postaji.

- **metode na mobilnem telefonu**

- celična identifikacija – podobna kot pri bazni postaji, s tem, da se identificira celico na mobilni postaji;
- časovna razlika prihoda – podobno kot pri bazni postaji, s tem, da se identificira celico na mobilni postaji;
- GNSS – večina mobilnih telefonov temelji na sistemu GPS;
- AGNSS – je podprti GNSS, ki omogoča pridobitev nekaterih podatkov, potrebnih za določitev položaja v GNSS prek različnih omrežij, na mobilni telefon.

V zadnjih letih je celotni razvoj navigacije na mobilnih aparatih osredotočen na drugo skupino metode – metode na mobilnih telefonih.

4.8.1.3 Natančnost mobilne navigacije

Natančnost se deli na dva razreda. Prvi, najnatančnejši je uporaba GNSS-modula. Drugi razred pa vsebuje metode na omrežju in na mobilni postaji. Pri lociranju položaja z GNSS-sistemom je natančnost reda 10 m, tako rekoč identično kot z GNSS-ročnimi sprejemniki. V drugem razredu pa je natančnost odvisna od uporabljene metode, načeloma je slabša od 20 m. Prikazane natančnosti so podane z standardnim odklonom.

Preglednica 12: Horizontalna natančnost z GNSS-modulom

H_z-natančnost z GNSS
okoli 10 m

Preglednica 13: Horizontalna natančnost z ostalimi metodami

H_z-natančnost z ostalimi metodami
20 m in več

Večina pametnih telefonov ima vgrajen GNSS-modul, ki je med uporabniki zelo uporabljan za vsakodnevno navigacijo (Smartphone, 2013).

4.8.2 Notranji položajni sistemi (IPS)

Za določevanje položaja in navigacije obstajajo različni sistemi, ki smo jih predhodno opisali. Nekateri izmed njih so izključno namenjeni za uporabo na prostem. Pojavila se je težnja oz. želja po identičnem postopku navigiranja v notranjosti najrazličnejših zgradb. Sistem se imenuje notranji položajni sistem IPS (angl. Indoor Positioning System), (IPS,2013).

Ime sistema še ni poenoteno oz. standardizirano, tako se v različnih člankih omenjajo podobna imena, vsa pa z istim namenom delovanja sistema v notranjosti zgradb. Velik »spodbujevalec« razvoja te tehnologije so največji proizvajalci pametnih telefonov v sodelovanju z računalniškimi giganti, kot sta npr. Google in Microsoft. Obstajajo različne tehnologije, ki se jih uporablja v IPS-sistemih, naštetje so najbolj tipične (Mautz, 2012):

- **WLAN** (angl. Wireless Local Area Network) – brezžično lokalno omrežje, uporabljajo se Wi-Fi, Bluetooth in NFC;
- **inercialni sistemi** – predvsem uporaba MEMS-senzorjev v mobilnih telefonih;
- **zvok** – na podlagi oddanega, sprejetega zvoka se izračuna oddaljenost, podobno kot tehnologija RADAR, s tem, da se uporablja lastnosti zvoka;
- **magnetno polje** – temelji na merjenju magnetnega polja;
- **psevdoliti** – sistem je podrobneje opisan v poglavju 4.4;
- **UWB** (angl. Ultra Wide Band) – je radijska tehnologija, širokega frekvenčnega območja.

WLAN so brezžična lokalna omrežja, zasnovana za uporabo na razdaljah do 100 m. Zasnovan je za brezžično povezovanje več naprav, kot so računalniki, mobilni telefoni, dlančniki in druge elektronske naprave. WLAN za komunikacijo uporablja radijske valove na določenem frekvenčnem pasu in temelji na pošiljanju podatkov prek razpoložljivega števila frekvenc, ki so v vsakem trenutku na voljo znotraj določenega frekvenčnega območja (WLAN, 2013).

Wi-Fi je sinonim za brezžično povezavo z dostopom do interneta. Prednost pred dostopom do interneta na mobilnih telefonih prek GPRS je v mogočem brezplačnem dostopu. Za delovanje so potrebne vstopne točke oz. nameščeni usmerjevalniki (angl. router) in ustrezna elektronska naprava z nameščeno mrežno kartico, ki omogoča dostop do interneta. Wi-Fi deluje v pasovni širini, t. i. ISM, v frekvencah od 2400 MHz do 2483.5 MHz. Tipičen doseg delovanja Wi-Fi-ja je cca. 100 m, kar je odvisno tudi od števila usmerjevalnikov (Wi-fi, 2013).

Bluetooth je brezžična komunikacijska tehnologija, razvita v letu 1994. Cilj te tehnologije je bilo razviti nizko cenovno brezžično tehnologijo, namenjeno prenosu podatkov in govora po elektronskih napravah. Bila je prva brezžična povezava na mobilnih napravah poleg IR – infrardeče povezave za prenos podatkov. Prav tako kot Wi-Fi deluje v ISM-frekvencah od 2400 MHz do 2483.5 MHz. Glede na doseg so razdeljeni na tri razrede, prvi razred ima doseg do 100 m, drugi do 10 m in tretji do 1 m. (Bluetooth, 2013)

NFC (angl. Near Field Communication) je brezžična komunikacijska tehnologija kratkega dosega, ki omogoča izmenjavo podatkov na razdalji do 10 cm. Je novejša tehnologija, ki se uporablja predvsem na mobilnih aparatih. Pri NFC se poveže v 0,1 s, pri bluetoothu pa v 6 s (NFC, 2013).

4.8.2.1 Zgradba IPS-sistema

Ne glede na izbrano tehnologijo v IPS-sistemih je zgrajen iz naslednjih komponent (Mautz, 2012).

- **Mobilni sprejemnik** – z njim lahko uporabljamo storitve IPS z ustrezno nameščeno aplikacijo, ki nas usmerja – navigira v zgradbi. Istočasno se izvajajo računske operacije za pozicioniranje in sledenje uporabniku.
- **Vstopne točke** – odvisno od izbrane tehnologije, največkrat so to usmerjevalniki, NFC-kartice in bluetooth naprave. Vstopne točke so nameščene po objektu, njihovo število je odvisno od velikosti zgradbe, za uspešno delovanje je zaželena vidnost med njimi. Prav tako imajo predhodno natančnost določene koordinate.
- **Lokacijske bazne storitve** – so bazni podatki najrazličnejših informacij za uporabnika, načrtov različnih nakupovalnih središč ipd., vsi pa temeljijo na uporabnikovem trenutnem položaju. Te storitve uporabnik pridobi z ustrezno aplikacijo.

Uporabnik mora imeti pametni mobilni telefon z nameščeno ustrezno aplikacijo in ustrezne karte ponudnika storitev, da lahko nemoteno uporablja storitve v zgradbah, v katerih je omogočena navigacija z IPS-sistemi.

4.8.2.2 Natančnost IPS-sistema

Natančnost je odvisna od uporabljene tehnologije IPS-sistema, načeloma se giblje v razponu od nekaj m do cm natančnosti. To naj bi omogočili tehnologija na podlagi zvoka in prav tako tehnologija psevdolitov, kot navaja Mautz (2012). Prikazane natančnosti so podane z standardnim odklonom.

Preglednica 14: Natančnost nekaterih IPS-sistemov

vrsta metode	Hz - natančnost
WLAN	1 m -10 m
inercialna	1 m
zvok	do cm
psevdolit	do cm
UWB	1 cm – 1 m

Podatke zadnjih dveh je treba jemati z rezervo, načeloma pa z uporabo WLAN-metode dobimo primerljive natančnosti kot npr. s SBAS-sistemi ali z GNSS-sistemi na podlagi kodnih opazovanj.

4.8.3 Uporabnost telekomunikacijskih sistemov

Praktično je uporaba različnih navigacijskih sistemov med uporabniki zelo razširjena. Uporablja se jih na prostem in po zaslugi IPS tudi v notranjosti zgradb oz. med visokimi stavbami oz. tam, kjer je vidnost GNSS slaba. Tako se uporablja npr. pri:

- navigaciji na prostem;
- navigaciji v zgradbah:
 - v nakupovalnih središčih;
 - v hotelih;
 - v bolnišnicah;
 - v podzemnih železnicah;
 - v središčih obdanimi z visokimi stolpniciami;
- zaščiti in reševanju v notranjosti zgradb.

Proizvajalci stalno dopolnjujejo in nadgrajujejo možnosti uporabe teh sistemov.

5.0 ZAKLJUČEK

Zaključimo lahko, da je tema diplomske naloge aktualna in zanimiva.

Naloga je zanimiva v smislu pregleda različnih načinov, ki omogočajo neposredno oziroma posredno orientacijo/navigacijo v prostoru. Nekateri sistemi omogočajo še mnogo več kot le to, kar je bil osnovni namen ob začetkih gradnje sistemov. Naloga predstavlja aktualne sisteme, predvsem je v zadnjem času v strmem naraščanju uporaba IPS-sistemov, poleg že aktualnih GNSS-sistemov in vse več tudi SBAS-sistemov.

Ob vseh predstavljenih novejših sistemih hitro ugotovimo, da so si po samem načinu delovanja ti sistemi v osnovi zelo podobni. Temeljijo na uporabi EM-valovanj, v vseh se pojavljata oddajnik in sprejemnik EM-valovanja.

Prepričani smo, da se bo GNSS-tehnologija v prihodnosti še naprej razvijala in nadgrajevala do natančnejše določitve položaja. Sama cena sprejemnikov bodisi za navigacijo oziroma za v uporabo v geodeziji, se bo verjetno znižala. Velikost sprejemnikov pa se bo še naprej manjšala.

Prav tako je v vzponu tehnologija psevdolitov, predvsem za namene, kjer ni mogoča uporaba GNSS-tehnologije, vse več pa se jih uporablja tudi v gosto naseljenih mestih z visokimi stolpniciami.

Pravi razcvet pa je pričakovati v t. i. IPS-sistemih, saj so gonilna sila razvoja predvsem trgovski koncerni skupaj z največjimi računalniškimi giganti.

GNSS-sistemi se lahko združijo s psevdoliti, s TPS-sistemi, z INS-sistemi, in navsezadnje z mobilnimi telefoni, ki so v zadnjem času v strmem naraščanju uporabnikov. Vsi ti sistemi se bodo v prihodnje tehnološko nadgradili, odpravili zdajšnje težave. Za samega uporabnika je bistvena predvsem sama hitrost oziroma čas določitve/pridobitve zelenih podatkov, saj v času v katerem živimo, še kako drži rek, čas je denar.

VIRI

- Brednon L., Stuart G., John C., James E., Newmont B. 2012. Leica jigsaw positioning system (JPS): Ground based positioning system using Locata technology, The team of Locata corporation: 14 str.
http://www.aimex.com.au/__novadocuments/31901?v=635094535417900000 (Pridobljeno 29. 10. 2013.)
- Černogoj B. 2005. Zasnova interaktivne karte kolesarskih in planinskih poti na širšem območju Rogaška Slatina. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba B. Černogoj): 84 str.
- Jakelj M. 2000. Orientacija. Seminarska naloga. Maribor, Univerza v Mariboru, pedagoška fakulteta: 17 str.
- Kogoj D., Valh M.M., Marjetič A., Ježovnik V. 2008. Avtomatski elektronski tahimetri ali kam vodi razvoj TPS sistemov. Geodetski vestnik 52, 3: 487-499.
- Kostevc D. 2012. Navigacijske naprave in sistemi, študijsko gradivo Ljubljana Univera v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko: 89 str.
http://antena.fe.uni-lj.si/studij/skn/zapiski_navigacija.pdf (Pridobljeno 6. 4. 2013.)
- Kozmus K. 2000. Inercialni sistemi v geodeziji. Raziskave s področja geodezije in geofizike - 2000 : zbornik predavanj. Ljubljana, Slovensko združenje za geodezijo in geofiziko, 2000: str. 21–35.
- Kozmus, K. 2002. Analiza in obdelava kinematičnih GPS opazovanj. Magistrska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba K. Kozmus): 129 str.
- Kozmus K. 2009. Združeni sistemi GNSS/INS za neprekinjeno navigacijo. Geodetski vestnik 53, 2: 239-252.
- Mautz R. 2012. Indoor positioning technologies. Zürich, Institute of geodesy and photogrammetry: 121 str.
- Mataija Valh M. 2008. Avtomatski elektronski tahimetri. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Mataija): 96 str.
- Nassar S. 2003. Improving the Inertial Navigation System (INS) Error Model for INS and INS/DGPS Applications. University of Calgary: 155 str.
- Novaković G., Đapo A., Mahović H. 2009. Razvoj i primjena pseudolita za pozicioniranje i navigaciju. Geodetski list 2009, 3: 215-241.
- Petrovič D. 2000. Topografija in kartografija, Materiali za pripravo na strokovni izpit iz geodetske stroke. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
http://www.izs.si/fileadmin/dokumenti/strokovni_izpiti/msgeo/topo_in_karto.pdf (Pridobljeno 21. 4. 2013.)
- Pogačnik G. 2009. Rekonstrukcija poti objekta z uporabo baznih postaj mobilnega omrežja. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba G. Pogačnik): 61 str.
- Ranfl U. 2009. Uporaba Kalmanovega filtra pri povezavi različnih senzorjev za določanje položaja v cestnem mobilnem kartirnem sistemu. Magistrska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba U. Ranfl): 120 str.

Smisl B. 2009. Modul za razpoznavanje gibanja s pomočjo pospeškometra in žiroskopov. Diplomaska naloga. Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko (samozaložba B. Smisl): 64 str.

Stopar B., Pavlovčič Prešeren P., Kozmus K. 2006. GPS v geodetski praksi. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 50 str.

Internetni viri

Marine chronometer. 2013.
http://en.wikipedia.org/wiki/Marine_chronometer (Pridobljeno 7. 6. 2013.)

Chronograph. 2013.
<http://en.wikipedia.org/wiki/Chronograph> (Pridobljeno 7. 6. 2013.)

Time. 2013.
<http://en.wikipedia.org/wiki/Time> (Pridobljeno 7. 6. 2013.)

Compass. 2013.
<http://en.wikipedia.org/wiki/Compass> (Pridobljeno 10. 5. 2013.)

Sextant manual. 2013.
http://www.suomennavigaatioliitto.com/files/manual/mark15_25.pdf (Pridobljeno 10. 5. 2013.)

WAAS. 2013.
<http://www.navipedia.net/index.php/Category:WAAS> (Pridobljeno 20. 4. 2013.)

Evropski satelitski servis ESSP. 2013
<http://www.essp-sas.eu/> (Pridobljeno 20. 4. 2013.)

GAGAN. 2013.
<http://www.navipedia.net/index.php/GAGAN> (Pridobljeno 20. 4. 2013.)

SDCM. 2013.
<http://www.navipedia.net/index.php/SDCM> (Pridobljeno 20. 4. 2013.)

MSAS. 2013.
<http://www.navipedia.net/index.php/Category:MSAS> (Pridobljeno 20. 4. 2013.)

SBAS systems. 2013.
http://www.navipedia.net/index.php/SBAS_Systems (Pridobljeno 20. 4. 2013.)

Locata corporation. 2013.
<http://www.locatacorp.com> (Pridobljeno 20. 3. 2013.)

EGNOS portal. 2013.
<http://www.egnos-portal.eu/> (Pridobljeno 20. 4. 2013.)

Gyroscope. 2013.

<http://en.wikipedia.org/wiki/Gyroscope> (Pridobljeno 25. 3. 2013.)

Accelerometer. 2013.

<http://en.wikipedia.org/wiki/Accelerometer> (Pridobljeno 25. 3. 2013.)

Radar. 2013.

<http://en.wikipedia.org/wiki/Radar> (Pridobljeno 5. 4. 2013.)

WLAN. 2013.

https://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_LAN (Pridobljeno 5. 5. 2013.)

Wi-fi. 2013.

<http://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi> (Pridobljeno 5. 5. 2013.)

Bluetooth. 2013.

<http://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth> (Pridobljeno 5. 5. 2013.)

NFC. 2013.

https://en.wikipedia.org/wiki/Near_field_communication (Pridobljeno 5. 5. 2013.)

GSM. 2013.

<http://en.wikipedia.org/wiki/GSM> (Pridobljeno 8. 5. 2013.)

Map orientation. 2013.

http://en.wikipedia.org/wiki/Map_orientation#Orientation_of_maps (Pridobljeno 11. 5. 2013.)

Time. 2013.

<http://en.wikipedia.org/wiki/Time> (Pridobljeno 11. 5. 2013.)

Clock. 2013.

<http://en.wikipedia.org/wiki/Clock> (Pridobljeno 11. 5. 2013.)

COSC. 2013.

<http://en.wikipedia.org/wiki/COSC> (Pridobljeno 11. 5. 2013.)

Časovni pas. 2013.

http://sl.wikipedia.org/wiki/%C4%8Casovni_pas (Pridobljeno 11. 5. 2013.)

Deklinacija. 2013.

<http://sl.wikipedia.org/wiki/Deklinacija> (Pridobljeno 11. 5. 2013.)

James Clerk Maxwell. 2013.

http://en.wikipedia.org/wiki/James_Clerk_Maxwell (Pridobljeno 11. 5. 2013.)

European Space Agency. 2013.

http://www.esa.int/About_Us/Welcome_to_ESA (Pridobljeno 20. 4. 2013.)

LN-3. 2013.

http://en.wikipedia.org/wiki/LN-3_Inertial_Navigation_System (Pridobljeno 11. 5. 2013.)

Gyrocompass. 2013.

<http://en.wikipedia.org/wiki/Gyrocompass> (Pridobljeno 11. 5. 2013.)

PSR and SSR radar. 2013.

http://en.wikipedia.org/wiki/Secondary_surveillance_radar (Pridobljeno 11. 5. 2013.)

GALILEO. 2013.

<http://www.navipedia.net/index.php/Category:GALILEO> (Pridobljeno 20. 7. 2013.)

GPS. 2013.

<http://www.navipedia.net/index.php/Category:GPS> (Pridobljeno 20. 7. 2013.)

GLONASS. 2013.

<http://www.navipedia.net/index.php/Category:GLONASS> (Pridobljeno 20. 7. 2013.)

COMPASS. 2013.

<http://www.navipedia.net/index.php/Category:COMPASS> (Pridobljeno 20. 7. 2013.)

Navipedia. 2013.

http://www.navipedia.net/index.php/Main_Page (Pridobljeno 20. 7. 2013.)

Navigation. 2013.

<http://en.wikipedia.org/wiki/Navigation> (Pridobljeno 20. 7. 2013.)

Magnetic pole. 2013.

http://en.wikipedia.org/wiki/North_Magnetic_Pole (Pridobljeno 25. 7. 2013.)

Geographical pole. 2013.

http://en.wikipedia.org/wiki/Geographical_pole (Pridobljeno 25. 7. 2013.)

Satellite navigation. 2013.

http://en.wikipedia.org/wiki/Satellite_navigation (Pridobljeno 25. 7. 2013.)

Sextant. 2013.

<http://en.wikipedia.org/wiki/Sextant> (Pridobljeno 10. 5. 2013.)

IPS. 2013.

http://en.wikipedia.org/wiki/Indoor_positioning_system (Pridobljeno 10. 5. 2013.)

Cartography. 2013.

<http://en.wikipedia.org/wiki/Cartography> (Pridobljeno 22. 5. 2013.)

Smartphone. 2013.

<http://en.wikipedia.org/wiki/Smartphone> (Pridobljeno 22. 5. 2013.)

Locata. 2013.

<http://www.locata.com/article/leica-jps> (Pridobljeno 29. 10. 2013.)

Ostali viri

Kogoj D., Bilban G., Bogatin S. 2004. Tehnične lastnosti tahimetrov Leica Geosystems. Geodetski vestnik, 48, 4: 508-518.